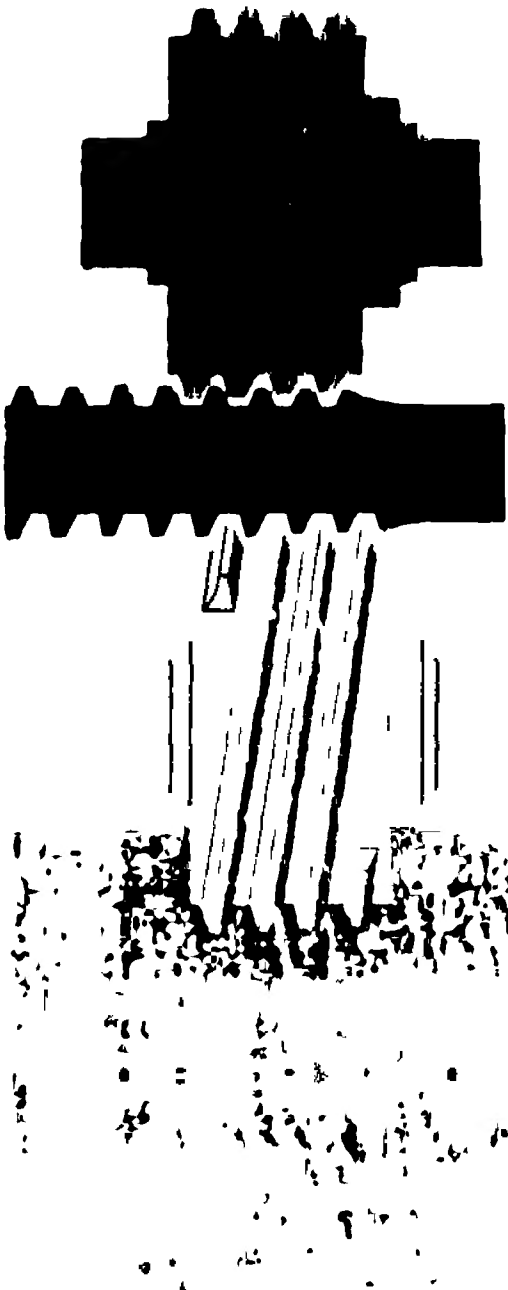
М. В. ВАСИЛЬЧИН
М. М. ВОЛКОВ

ПОПЕРЕЧН
ВИНТОВА
ПРОКАТК



УДК 621.771 : 62—428

Поперечновинтовая прокатка изделий с винтовой поверхностью. Васильчиков М. В. и Волков М. М., «Машиностроение». 1968 г. 142 стр

В книге изложены результаты многолетних работ ВНИИметмаша по созданию новых процессов изготовления деталей с винтовой поверхностью методом поперечновинтовой прокатки.

Рассмотрены вопросы разработки, исследования и внедрения в промышленность процесса холодной и горячей прокатки винтов с крупной резьбой, червяков, заготовок червячных фрез и других изделий с винтовой поверхностью.

Книга представляет интерес для научных работников, конструкторов и инженерно-технических работников занимающихся вопросами технологии и оборудования для получения изделий с винтовой поверхностью методом холодной и горячей прокатки.

Табл. 22. Илл. 94. Библ. 24 назв.

Редактор чл.-корр. АН СССР, д-р техн. наук проф. В. С. Смирнов

3-12-3
209-68

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из наиболее прогрессивных направлений в развитии современного отечественного и зарубежного машиностроения является стремление уменьшить удельный вес обработки резанием и получить заготовку, приближающуюся по форме и размеру к готовому изделию.

В современном машиностроении широко распространен процесс накатывания, применяемый для изготовления сравнительно мелких крепежных резьб с шагом до 3—5 *мм* и длиной не более 150 *мм*. Винты с более крупной резьбой, червяки, заготовки червячных фрез и другие изделия с винтовой поверхностью изготовляют в основном резанием.

За последние годы в СССР и за рубежом разработаны и внедряются в промышленность процессы накатывания с осевым перемещением заготовок в процессе накатывания. Эти процессы позволяют последовательно накатывать резьбу на деталях с неограниченной длиной резьбового участка.

При параллельных осях накатных роликов осевое перемещение заготовки достигается в результате разности в углах подъема профиля резьбы роликов и накатываемой резьбы на заготовке. Для этой цели ролики выполняются с углом подъема профиля резьбы, отличным от угла подъема накатываемой резьбы. Недостатками этого способа накатки являются неблагоприятные условия работы роликов из-за повышенной величины скольжения между металлом заготовки и накатным роликом, а также из-за одностороннего давления металла на сторону профиля резьбы ролика.

Способ поперечновинтового накатывания, при котором оси накатных роликов расположены под углом к оси накатываемой заготовки, имеет более высокую производительность и большие

технические возможности, позволяющие производить накатывание крупных резьб с большими углами подъема резьбы как в холодном, так и в горячем состоянии. Ввиду полной кинематической аналогии с процессом поперечновинтовой прокатки этот процесс получил название поперечновинтовой прокатки изделий с винтовой поверхностью.

Технологический процесс и оборудование для накатывания с осевым перемещением заготовки роликами с параллельными осями подробно описаны в работах М. И. Писаревского [1], В. П. Загурского [2], В. В. Лапина [3] и др.

Процесс поперечновинтовой прокатки изделий с винтовой поверхностью был разработан позже и недостаточно освещен в технической литературе.

ГЛАВА I

ОСОБЕННОСТИ ПОПЕРЕЧНОВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ

1. КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА

При поперечновинтовой прокатке оси валков наклонены к оси изделия на угол α, определяемый геометрическими размерами валков и прокатываемого изделия.

Благодаря перекосу осей валков изделие получает одновременно вращательное и поступательное движение (рис. 1).

Окружная скорость точки, расположенной на поверхности валка, определяется по формуле

$$v = \frac{\pi D n_в}{60}, \qquad (1)$$

где D — диаметр валка, на котором расположена точка;

$n_в$ — число оборотов валка в минуту.

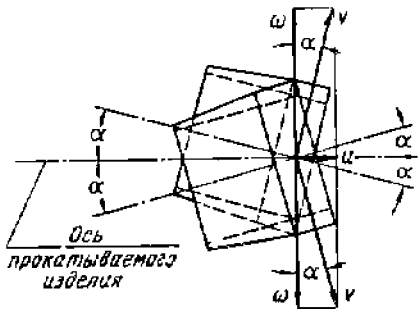


Рис. 1. Схема разложения вектора окружной скорости валков

Разложив вектор окружной скорости v на две составляющие, направленные по оси прокатки и перпендикулярно к ней, получим составляющие скорости: скорость осевой подачи заготовки u и скорость вращения заготовки ω, которые соответственно будут равны:

$$u = v \sin \alpha; \qquad (2)$$

$$\omega = v \cos \alpha. \qquad (3)$$

Используя выражение (1), получим

$$u = \frac{\pi D n_в}{60} \sin \alpha, \qquad (4)$$

$$\omega = \frac{\pi D n_в}{60} \cos \alpha. \qquad (5)$$

В зоне контакта валков с заготовкой радиус валка изменяется по длине заборного конуса и в соответствии с выражениями (4) и (5) должны изменяться окружная и осевая скорости заготовки по ее длине в очаге деформации. Так как заготовка при установившемся процессе прокатки имеет определенные скорости вращения и скорость выхода из валков, то очевидно имеется диаметр, подстановка которого в выражения (4) и (5) дает значения ω и u, равные фактическим.

Этот диаметр по аналогии с другими процессами прокатки может быть назван катающим диаметром. Значение величины катающего диаметра необходимо для расчета валков и для определения производительности процесса прокатки.

При известных числах оборотов валков $n_в$ и заготовки $n_з$ катающий диаметр может быть определен из передаточного отношения между валком и заготовкой

$$i = \frac{n_з}{n_в} = \frac{D_к}{d_к}\cos\alpha, \tag{6}$$

где $D_к$ — катающий диаметр валка в *мм*;

$d_к$ — катающий диаметр заготовки в *мм*,

откуда

$$d_к = \frac{D_к \cos\alpha}{i}. \tag{7}$$

Расстояние между осями валков

$$A = D_к - d_к. \tag{8}$$

Подставив значение $d_к$ в выражение (8), получим

$$A = D_к + \frac{D_к \cos\alpha}{i} = D_к\left(1 + \frac{\cos\alpha}{i}\right),$$

откуда

$$D_к = \frac{Ai}{i - \cos\alpha}. \tag{9}$$

Катающий диаметр заготовки определяется из выражения (8):

$$d_к = A - D_к. \tag{10}$$

Теоретическое определение катающего диаметра сложно и приводит к громоздким формулам, не представляющим практической ценности. Поэтому определение величины катающего диаметра было проведено экспериментальным путем при холодной прокатке трапецеидальной резьбы 36×6, 52×8, 65×10 и при горячей прокатке трапецеидальной резьбы 65×10. Прокатку вели без обжатия наружного диаметра резьбы. По полученным числам оборотов валков $n_в$ и заготовки $n_з$ определяли величины катающих диаметров $D_к$ и $d_к$, приведенные в табл. 1.

Во время экспериментов было проверено влияние на катающий диаметр основных параметров процесса: радиального единичного

Таблица 1

Результаты определения катающих диаметров и коэффициента скольжения металла в калибрах валков

Прокатываемое изделие	Диаметр заготовки в мм	Диаметр валков в мм		Вид прокатки	Число оборотов валков в минуту $n_в$	Радиальные единичные обжатия Δr в мм	Размеры прокатанного изделия в мм		Катающий диаметр в мм		Осевая подача заготовки за один оборот валка в мм		Коэффициент скольжения металла в калибрах валков	
		наружный $D_н$	внутренний $D_{вн}$				наружный диаметр резьбы $d_в$	внутренний диаметр резьбы $d_{вн}$	валка $D_к$	заготовки $d_к$	теоретическая	по отпечаткам шила (средняя)	по наружному диаметру резьбы	по внутреннему диаметру резьбы
Трапецеидальная резьба 36×6	33,2	180	173	Холодная	18	0,031	36,6	29,8	177,3	32,5	9,8	9,5	1,15	0,94
То же	33,6	180	173	»	18	0,047	36,8	30,1	177,8	32,3	14,6	14,8	1,16	0,92
»	33,5	180	173	»	18	0,105	36,4	30,3	177,0	33,0	32,3	32,2	1,12	0,89
Трапецеидальная резьба 52×(2×8)	47,7	195	175	»	12	0,119	51,4	42,9	190,5	47,3	15,7	15,3	1,11	0,88
То же	47,6	195	175	»	24	0,119	51,8	42,9	191,5	46,3	15,4	14,9	1,15	0,91
»	47,6	195	175	»	34	0,119	51,8	43,2	191,5	46,6	15,7	14,8	1,14	0,91
Трапецеидальная резьба 65×10	60,3	200	189	»	25	0,069	64,8	53,9	195,8	58,1	7,69	7,44	1,15	0,91
То же	60,3	200	189	Горячая	20	0,069	64,4	53,1	195,7	57,3	7,69	7,55	1,16	0,90

обжатия Δr, оборотов валков $n_в$, угла перекоса осей валков α, шага резьбы s и температуры прокатки t. Эти параметры изменялись в пределах, применяемых на практике при холодной прокатке: $\Delta r = 0{,}4 \div 0{,}11$ *мм*, $n_в = 12 \div 35$ *об/мин*, $\alpha = 1° \div 3°20'$ и $s = 6 \div 10$ *мм*.

Эксперименты показали, что изменение величин Δr, $n_в$, α и s в вышеуказанных пределах не оказывает влияния на величину катающего диаметра (см. табл. 1).

Из сопоставления полученных из опытов величины катающих диаметров с величинами средних диаметров резьбы видно, что они отличаются на 1,5—2,0 *мм*.

Величина осевого перемещения заготовки определяется по формуле

$$l_п = \pi d_к n_з \operatorname{tg} \alpha. \tag{11}$$

На основании экспериментальных данных катающий диаметр на заготовке может быть определен по формуле

$$d_к = d_{вн} + (0{,}6 \div 0{,}8)\, h. \tag{12}$$

Катающий диаметр валка

$$D_к = D_н - (0{,}6 \div 0{,}8)\, h. \tag{13}$$

где $d_{вн}$ — внутренний диаметр прокатанного профиля в *мм*;
$D_к$ — наружный диаметр валка в *мм*;
h — высота прокатанного профиля в *мм*.

Для практических расчетов без больших погрешностей можно принимать, что катающий диаметр проходит по середине высоты прокатываемого профиля. При таком допущении формулы (12) и (13) приобретают вид

$$d_к = d_{вн} + h; \tag{14}$$

$$D_к = D_н - h. \tag{15}$$

Погрешность, вызываемая таким допущением, невелика. Так, при определении ширины валков B по формуле (42) с учетом $d_к$ по формуле (12) $B = 56{,}3$ *мм*, а с учетом $d_к$ по формуле (14) $B = 57{,}3$ *мм*. Величина погрешности составляет 1,8% и ею можно пренебрегать.

Для определения величины скольжения металла заготовки относительно валков на конце калибрующего участка одного из валков был вмонтирован шип, дающий отпечаток во впадине прокатанной резьбы за каждый оборот валка. На пленке осциллографа записывались обороты валков, величина осевого перемещения и обороты заготовки.

Длина винтовой линии на валке, соответствующая одному обороту, определялась по формуле

$$l_в = \frac{\pi D_в}{\cos \omega_в}, \tag{16}$$

где $D_в$ — наружный, катающий и внутренний диаметр валка

Длина винтовой линии на заготовке между отпечатками шипа за один оборот валка определялась по формуле

$$l_з = \frac{\pi d_з n_з}{\cos \omega_з}, \tag{17}$$

где $\omega_в$ — угол подъема винтового калибра на валке;
$\omega_з$ — угол подъема прокатываемого профиля на заготовке;
$d_з$ — наружный, катающий и внутренний диаметр прокатываемой резьбы на заготовке в *мм*.

При нахождении величины осевого перемещения заготовки по формуле (11) и длины винтовой линии на валке и заготовке по формулам (16) и (17) значения $D_к$ и $d_п$ принимались равными наружному, катающему и внутреннему диаметрам валка и заготовки.

Величина внутреннего диаметра валка в расчетах принималась переменной в зависимости от высоты профиля прокатанной резьбы.

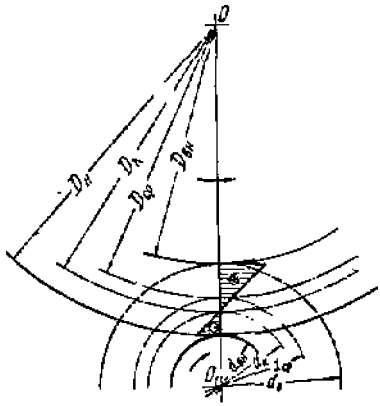


Рис. 2. Эпюра распределения окружной скорости заготовки относительно окружной скорости валка по высоте профиля резьбы

По обе стороны катающего диаметра валка при наличии разных окружных скоростей происходит скольжение металла заготовки (рис. 2).

Коэффициент скольжения металла по внутреннему диаметру резьбы

$$\eta_{d_{вн}} < 1,$$

а по наружному диаметру резьбы $\eta_{d_в} > 1$.

Коэффициент скольжения по наружному диаметру резьбы

$$\eta_{d_0} = \frac{l_з d_0}{l_в D_{вн}}, \tag{18}$$

а по внутреннему диаметру резьбы

$$\eta_{d_{вн}} = \frac{l_з d_{вн}}{l_в D_н}. \tag{19}$$

Величины коэффициентов скольжения металла по внутреннему и наружному диаметрам при прокатке трапецеидальной резьбы 36 × 6, 52 × (2 × 8) и 65 × 10, полученные экспериментальным путем, приведены в табл. 1.

2. СХЕМЫ ПРОЦЕССА

При поперечновинтовой прокатке изделий с винтовой поверхностью применяются двухвалковая и трехвалковая схемы прокатки. При двухкалковой схеме прокатки (рис. 3) заготовка между валками удерживается при помощи поддерживающих проводок или подвижных центров. При трехвалковой схеме прокатки (рис. 4) необходимость в проводках отпадает.

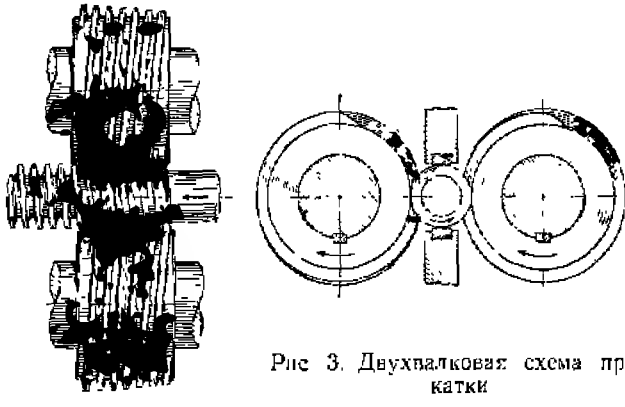


Рис 3. Двухвалковая схема прокатки

При поперечновинтовой прокатке изделий с винтовой поверхностью используют валки двух типов: с кольцевыми (рис. 5) и винтовыми (рис. 6) калибрами.

В зависимости от типа калибров валков и профиля на изделии с винтовой поверхностью возможны следующие схемы поперечновинтовой прокатки [5].

Схема I. Валки имеют кольцевые калибры; угол перекоса осей валков равен углу подъема прокатываемого профиля на заготовке $\omega_з$ (рис. 7):

$$\alpha = \omega_з. \tag{20}$$

Схема II. Валки имеют винтовые калибры, направление которых — разноименное с направлением прокатываемого профиля на изделии с винтовой поверхностью; угол подъема профиля на заготовке больше угла подъема винтовых калибров на валке (рис. 8). В этом случае перекос осей валков

$$\alpha = \omega_з - \omega_в, \tag{21}$$

где $\omega_в$ — угол подъема винтовых калибров на валке.

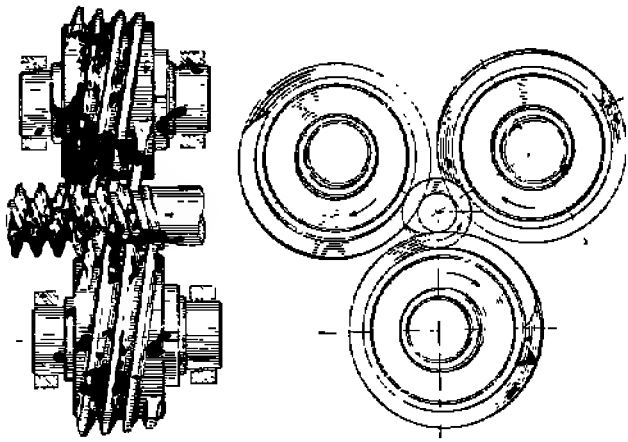


Рис. 4. Трехвалковая схема прокатки

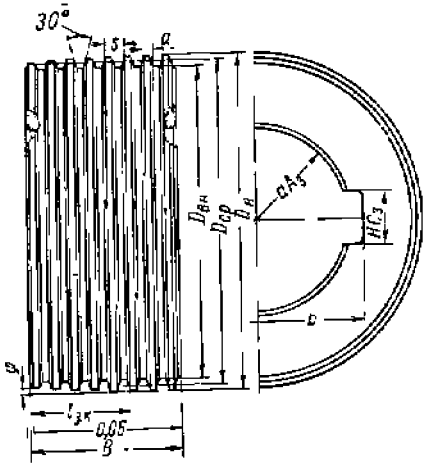


Рис. 5. Валки с кольцевыми калибрами

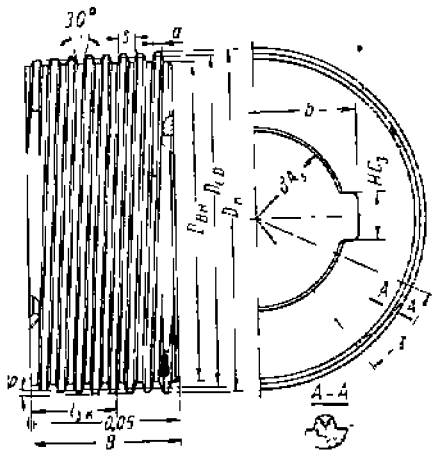


Рис. 6. Валки с винтовыми калибрами

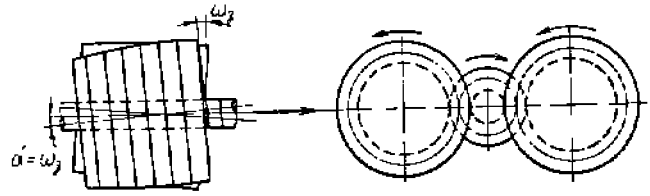


Рис. 7. Схема прокатки изделий с винтовой поверхностью валками с кольцевыми калибрами при $\omega = \omega_3$

По этой схеме прокатка производится при меньших значениях угла перекоса осей валков по сравнению с прокаткой валками, имеющими кольцевые калибры, что необходимо при прокатке изделий с большим углом подъема профиля.

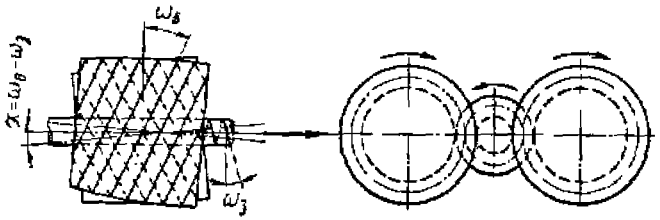


Рис. 8. Схема прокатки изделий с винтовой поверхностью валками с винтовыми калибрами при $\alpha = \omega_в - \omega_з$

Схема III. Валки имеют винтовые калибры, направление которых — разноименное с направлением прокатываемого профиля на изделии с винтовой поверхностью: угол подъема профиля на заготовке меньше угла подъема винтовых калибров на валке (рис. 9).

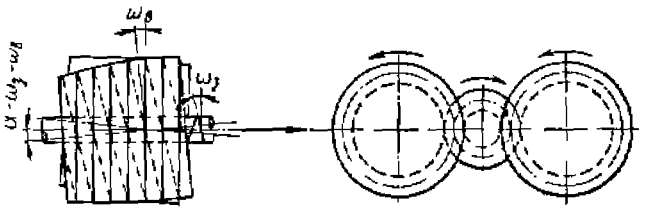


Рис. 9. Схема прокатки изделий с винтовой поверхностью валками с винтовыми калибрами при $\alpha = \omega_в - \omega_з$

Угол перекоса валков

$$\alpha = \omega_в - \omega_з. \qquad (22)$$

Эта схема используется наряду со схемой, приведенной на рис. 8, однако требует более сложных в изготовлении многозаходных валков. Прокатка по этой схеме обычно производится при меньших величинах угла α по сравнению с прокаткой валками, имеющими кольцевые калибры. Это обстоятельство позволяет уменьшить единичные радиальные обжатия заготовки.

Валками с кольцевыми калибрами (одним комплектом валков) возможно прокатывать левую и правую резьбу одного шага на заготовках разных диаметров, но с углом подъема резьбы не более 6—7°. При применении валков с кольцевыми калибрами не предъявляется высоких требований к синхронизации их вращения,

что упрощает конструкцию их привода вращения. Однако такие валки сложны в изготовлении.

Валками с винтовыми калибрами (одним комплектом валков) также можно прокатывать резьбу различного диаметра за исключением тех размеров, для которых соблюдается равенство угла подъема винтовых калибров на валке и угла подъема резьбы на изделии.

Валки с винтовыми калибрами по сравнению с валками с кольцевыми калибрами имеют следующие преимущества:

1. Прокатка производится при меньших углах перекоса осей валков. Это важно при прокатке многозаходных резьб и червяков, так как допустимые величины углов перекоса осей валков определяются конструктивными возможностями оборудования.

2. Прокатка валками с винтовыми калибрами производится при меньших величинах осевой подачи и радиального единичного обжатия заготовки, чем при прокатке валками с кольцевыми калибрами при равном угле заборного конуса валков. Это имеет особое значение при холодной прокатке резьб, когда необходимо уменьшить единичное радиальное обжатие заготовки с целью: снижения давления металла на валки, мощности привода вращения валков, а также из-за технологических соображений.

3. При одинаковых режимах прокатки (при равных единичных радиальных обжатиях) валки с винтовыми калибрами имеют меньшую ширину, чем валки с кольцевыми калибрами.

Уменьшение ширины валков ведет к снижению усилий при прокатке и мощности привода, благодаря чему оказывается возможным производить прокатку более крупных профилей с винтовой поверхностью на менее мощном и жестком оборудовании.

Таким образом, применение валков с винтовыми калибрами расширяет технологические возможности оборудования. Недостатком этих валков является то, что при прокатке необходимо высокая синхронизация их вращения.

Целесообразность применения того или иного типа валков определяется расчетом в зависимости от геометрии прокатываемого профиля, материала заготовки и параметров оборудования, причем валки с кольцевыми калибрами следует рассматривать как частный случай валков с винтовыми калибрами.

3. КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ВАЛКОВ

Валки для поперечновинтовой прокатки изделий с винтовой поверхностью представляют собой сочетание усеченного конуса с цилиндром, на поверхности которых нарезаны соответствующие калибры.

Заборным конусом валков осуществляется захват заготовки и формование заданного профиля. Заборный конус обеспечивает равномерное распределение деформации между отдельными вит-

ками профиля валков. Применяется два способа профилирования заборного конуса валков: с неполной (рис. 10, *а*) и полной (рис. 10, *б*) высотой калибров на заборной части валка. Сложность изготовления валков по второму способу (рис. 10, *б*) ограничивает их применение. Цилиндрический участок валков устраняет овальность заготовки и калибрует сформованный на изделии профиль.

Конструкция валков существенно влияет на скорость прокатки, качество и точность прокатанного профиля на изделии, на производительность стана и другие технологические показатели процесса.

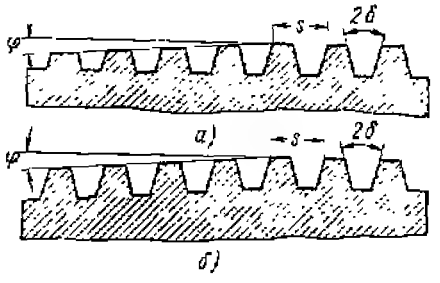


Рис. 10. Способы профилирования заборного конуса валков

Основными данными для расчета валков является величина радиального единичного обжатия Δr, шаг s, высота профиля h, число заходов z и диаметр прокатываемого изделия.

При прокатке на трехвалковых станах максимальный диаметр валков определяется внутренним диаметром прокатываемого профиля на изделии и выражается следующим соотношением:

$$D_{max} \leqslant 6{,}4d_{min} - 7{,}4\Delta s, \qquad (23)$$

где D_{max} — максимальный наружный диаметр валка в *мм*;

d_{min} — минимальный внутренний диаметр прокатываемого изделия в *мм*;

Δs — зазор между валками при прокатке в *мм*.

При прокатке на двухвалковых станах обычно применяют валки диаметром 160—200 *мм* при холодной прокатке и валки диаметром 200—300 *мм* при горячей прокатке. В этих пределах величина диаметра валков существенного влияния на процесс прокатки не оказывает. Для уменьшения удельного давления прокатки и скольжения металла по калибрам валков диаметр их желательно выбирать возможно меньшим. Практически диаметр валков выбирается по конструктивным соображениям с учетом обеспечения необходимой жесткости и прочности шейки вала и подшипниковых опор.

Чтобы определить число заходов винтовых калибров на валках, задаются углом перекоса осей валков α, который выбирается в пределах 1—4°.

Угол подъема винтовых калибров на валках в зависимости от схемы прокатки равен

$$\omega_в = \omega_з + \alpha \qquad (24)$$

или

$$\omega_в = \omega_з - \alpha \qquad (25)$$

где $\omega_з$ — угол подъема прокатываемого профиля на заготовке, который определяется соотношением

$$\operatorname{tg}\omega_з = \frac{s \cdot m_з}{\pi d_з}, \qquad (26)$$

где $m_з$ — число заходов прокатываемого профиля на заготовке;
$d_з$ — диаметр заготовки.

Число заходов винтовых калибров на валках $m_в$ определяется выражением

$$m_в = \frac{\omega_в \pi D}{s}. \qquad (27)$$

Диаметр валков корректируется до ближайшего $m_в$, равного целому числу.

Шаг прокатанной резьбы валками с винтовыми калибрами зависит от угла перекоса валков.

На рис. 11 сплошными линиями показано положение валка с углом подъема калибров $\omega_в$ при совмещении оси заготовки с осью валка. В этом случае осевой шаг прокатываемой резьбы на заготовке будет равен осевому шагу калибров на валке.

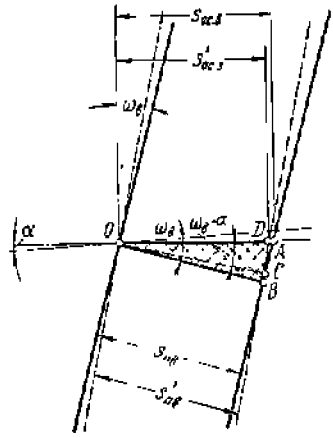


Рис. 11. Схема к расчету шага прокатываемой резьбы валка с винтовыми калибрами

При перекосе валка на угол α осевой шаг прокатываемой резьбы не совпадает с осевым шагом валка и будет равен

$$s_{oc.з} = \frac{s_{oc.в} \cos\omega}{\cos(\omega_в - \alpha)}. \qquad (28)$$

Ширина зуба прокатанной резьбы по среднему диаметру

$$a = \frac{a_N}{\cos(\omega_в - \alpha)}. \qquad (29)$$

Угол прокатанного профиля

$$\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{\operatorname{tg}\varepsilon_N}{\cos(\omega_в - \alpha)}. \qquad (30)$$

В формулах (28)—(30):

$s_{oc.з}$ — осевой шаг прокатанной резьбы на заготовке в *мм*;

$s_{oc.в}$ — осевой шаг винтовых калибров валка в *мм*;

a_N и ε_N — толщина зуба (в *мм*) и угол профиля (в *град*) в нормальном сечении профиля валка;

a и ε — ширина зуба в *мм* и угол профиля в *град* в осевом сечении на прокатанной резьбе.

Для получения правильного профиля прокатанной резьбы валок должен иметь криволинейные стороны калибров. Если на валке калибры изготовлены с прямолинейными сторонами, то профиль прокатанной резьбы не будет иметь формы правильной трапеции: стороны ее получатся криволинейными, а угол профиля искаженным. В этом можно убедиться с помощью простого графического построения (рис. 12).

Ширину впадины резьбы в сечении, расположенном под углом, можно определить по следующим выражениям (рис. 12):

$$a_1 = \frac{a \cos \omega_2}{\cos (\omega_2 - \omega)};$$

$$b_1 = \frac{b \cos \omega_1}{\cos (\omega - \omega_1)};$$

$$c_1 = c \cos \omega, \qquad (31)$$

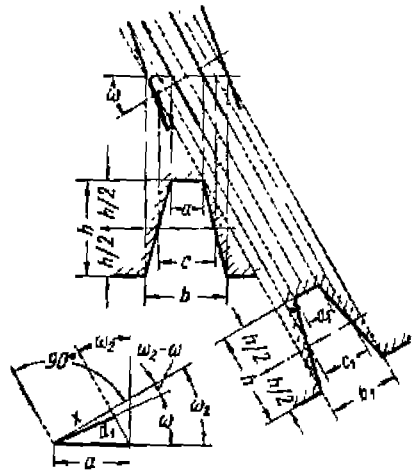


Рис. 12. Схема для определения профиля валков

где a, b, c — ширина впадины резьбы винта в осевом сечении в *мм*;

a_1, b_1, c_1 — ширина впадины резьбы винта в нормальном сечении в *мм*;

ω, ω_1, ω_2 — углы подъема резьбы, соответствующие средней, наружной и внутренней винтовым линиям.

Если бы стороны профиля резьбы были прямыми в нормальном сечении, то $\frac{a_1 + b_1}{2}$ были бы равны c, что в действительности не имеет места. Поэтому при прокатке трапецеидального профиля на изделии валки должны иметь криволинейный профиль калибров.

Так как искажение профиля при малых углах 1—4 разворота осей валков незначительно и находится в пределах допуска, то для прокатки резьбы и червяков можно применять валки с винтовыми калибрами без коррекции профиля, учитывая только влияние угла разворота валков на шаг по формуле (28).

Для определения профиля валков с кольцевыми калибрами можно пользоваться следующими приближенными формулами:

для шага калибров в нормальном сечении

$$s_N = s_{0c} \cos \omega; \qquad (32)$$

для ширины зуба валка

$$c_N = c_{0c} \cos \omega; \qquad (33)$$

для угла профиля валка

$$\operatorname{tg} \varepsilon_N = \operatorname{tg} \varepsilon_0 \cos \omega, \tag{34}$$

где s_{α} — осевой шаг резьбы винта в *мм*;

c_{α} — ширина впадины резьбы винта в осевом сечении по среднему диаметру в *мм*;

ε_0 — теоретический угол профиля резьбы в *град*;

ω — угол подъема резьбы по среднему диаметру в *град*.

При холодной прокатке заготовок из некоторых упругодеформируемых твердых и жестких металлов происходит небольшое сокращение шага и профиля резьбы. В этих случаях при прокатке точных резьб производится дополнительная коррекция калибров валков.

При назначении шага и размеров калибров валков для горячей прокатки необходимо учитывать поправку на температурное расширение Δt_r.

Радиальное единичное обжатие определяют по формуле

$$\Delta r = k \cdot \operatorname{tg} \varphi, \tag{35}$$

где k — осевая подача за $1/z$ оборота заготовки в *мм*;

z — количество валков;

φ — угол заборного конуса валков в *град*.

Величина осевой подачи заготовки

$$k = u\tau, \tag{36}$$

где u — скорость осевой подачи заготовки в *мм/сек* определяют по формуле (4);

τ — время $1/z$ оборота заготовки в *сек*;

τ с учетом выражения (4) будет равно

$$\tau = \frac{60}{zn_a} \cdot \frac{d_к}{D_к \cos \alpha}, \tag{37}$$

где n_a — число оборотов валков в минуту.

Катающий диаметр заготовки и валка определяют по формулам (14) и (15).

Подставив в уравнение (36) значения u и τ, получим

$$k = \frac{\pi}{z} d_к \operatorname{tg} \alpha. \tag{38}$$

По заданной величине радиального единичного обжатия находят угол заборного конуса валка φ из соотношения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{z \cdot \Delta r}{\pi d_к \operatorname{tg} \alpha}. \tag{39}$$

Полученное значение угла φ не должно превышать 5—6°.

70058

...ТЕХНИЧЕСКАЯ ... ОТВКА ... И. И. Ленина

Длина заборного конуса валка

$$l_{з.к} = \frac{\Delta c}{\operatorname{tg}\varphi} + 0{,}5s, \qquad (40)$$

где $\Delta c = \frac{d_з - d_{вн}}{2}$ — суммарное радиальное обжатие заготовки в *мм*;

$d_з$ — диаметр заготовки в *мм*;

$d_{вн}$ — внутренний диаметр прокатываемого профиля в *мм*;

s — шаг профиля в *мм*.

Длина цилиндрического (калибрующего) участка валка должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить не менее 3—4 оборотов заготовки при калибровании профиля и должна иметь не менее 2—2,5 полных витков. Ее *определяют по формуле*

$$l_к = \pi d_к \operatorname{tg}\alpha q + 0{,}5s, \qquad (41)$$

где q — число оборотов заготовки при калибровании профиля.

Полная ширина валков

$$B = \pi \cdot d_к \operatorname{tg}\alpha \left(\frac{\Delta c}{z \cdot \Delta r} \quad q\right) + s. \qquad (42)$$

Анализ формулы (42) показывает, что ширина валков B зависит от величины угла подачи α. Уменьшение угла (при сохранении неизменными остальных технологических параметров) дает возможность значительно сократить ширину валков, а следовательно, существенно уменьшить величину давления металла на валки и мощность прокатки.

Уменьшение угла α производится варьированием числа заходов винтовых калибров валка и выбором диаметра последних. С уменьшением угла α уменьшается скорость выхода заготовки и производительность процесса.

Приведенные формулы позволяют рассчитать основные параметры валков для прокатки изделий с винтовой поверхностью при любых заданных условиях.

Пример расчета валков с винтовыми калибрами.

а) Для холодной прокатки трапецеидальной резьбы 52× (2×8) на двухвалковом стане.

Исходные данные для расчета:

Наружный диаметр резьбы $d_0 = 52$ *мм*.

Внутренний диаметр резьбы $d_{вн} = 43$ *мм*.

Осевой шаг резьбы $s_{ос.р} = 8$ *мм*.

Число заходов прокатываемой резьбы на заготовке $m_з = 2$.

Направление резьбы — левое.

Материал винта сталь 45.

Определяем:

Диаметр заготовки под прокатку $d_з = 47{,}8$ *мм*.

Угол подъема резьбы на прокатываемой заготовке

$$\operatorname{tg}\omega_з = \frac{s_{ос.з} m_з}{\pi \cdot d_з} = \frac{8 \times 2}{3{,}14 \times 47{,}8} = 0{,}107;$$

$$\omega_з = 6\ 10'.$$

Принимаем:
Наружный диаметр валков $D_н = 200$ *мм*.
Внутренний диаметр валков $D_{вн} = 191$ *мм*.
Направление винтовых калибров на валках — правое.
Число заходов винтовых калибров на валках $m_в = 6$.
Осевой шаг винтовых калибров на валках $s_{ос.в} = 8$ *мм*.
Число оборотов валков в минуту $n_з = 20$.
Число оборотов заготовок в калибрующем участке валков q 3.
Радиальное единичное обжатие заготовки $\Delta r = 0{,}1$ *мм*.
Определяем:
Катающие диаметры валка и заготовки:

$$D_к = D_н - h = 200 - 4{,}5 = 195{,}5 \text{ мм};$$

$$d_к = d_{вн} + h = 43 + 4{,}5 = 47{,}5 \text{ мм}.$$

Угол подъема винтовых калибров на валках

$$\operatorname{tg}\omega_в = \frac{s_{ос.в} m_в}{\pi D_к} = \frac{8 \times 6}{3{,}14 \times 195{,}5} = 0{,}078;$$

$$\omega_в = 4°30'.$$

Угол разворота осей валков

$$\alpha = \omega_з - \omega_в = 6°10' - 4°30' = 1°40'.$$

Суммарное обжатие заготовки

$$\Delta c = \frac{d_з - d_{вн}}{2} = \frac{47{,}8 - 43}{2} = 2{,}4.$$

Угол заборного конуса валков

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{z \cdot \Delta r}{\pi d_к \operatorname{tg}\alpha} = \frac{2 \times 0{,}1}{3{,}14 \times 47{,}5 \times 0{,}029} = 0{,}0465;$$

$$\varphi = 2\ 40'.$$

Длина заборного конуса валков

$$l_{з.к} = \frac{\Delta c}{\operatorname{tg}\varphi} + 0{,}5s = \frac{2{,}4}{0{,}0465} + 4 = 55 \text{ мм}.$$

Длина калибрующего участка валков

$$l_к = \pi d_к \operatorname{tg}\alpha q + 0{,}5s = 3{,}14 \times 47{,}5 \times 0{,}291 \times 3 + 4 = 17 \text{ мм}.$$

Полная ширина валков

$$B = \pi d_к \operatorname{tg}\alpha \left(\frac{\Delta c}{z \cdot \Delta z} + q\right) + s = 3{,}14 \times 47{,}5 \times 0{,}0291 \left(\frac{2{,}9}{2 \cdot 0{,}1} + 3\right) + 8 = 83 \text{ мм}.$$

Скорость осевой подачи заготовки

$$u = \frac{\pi D_к n_з}{60} \sin\alpha = \frac{3{,}14 \times 195{,}5 \times 20}{60} 0{,}0291 = 5{,}9 \text{ мм/сек}.$$

По выбранным размерам валков определяем фактическое радиальное единичное обжатие

$$\Delta r = \frac{\pi}{z} d_к \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\varphi = \frac{3{,}14}{2} 47{,}5 \times 0{,}0291 \times 0{,}0465 = 0{,}055 \text{ мм}.$$

Определяем величину осевого шага резьбы на прокатанной заготовке при угле разворота осей валков $\alpha = 1^\circ 40'$:

$$s_{ос.з} = \frac{s_{ос.в} \cos\omega_в}{\cos(\omega_в - \alpha)} = \frac{8 \times 0{,}9969}{0{,}9988} = 7{,}985 \text{ мм}.$$

Для получения осевого шага резьбы $s_{ос.р}$ на прокатанной заготовке необходимо иметь осевой шаг винтовых калибров на валках $s_{ос.в} = 8{,}02$ *мм*.

Так как искажение профиля при угле разворота осей валков $\alpha = 1^\circ 40'$ незначительно и находится в пределах допуска, то коррекцию геометрии калибров валков не производим.

б) Для горячей прокатки заготовок червячных фрез с модулем 5 *мм* на трехвалковом стане.

Исходные данные для расчета:

Наружный диаметр червячного профиля фрезы $d_н = 113{,}5$ *мм*.

Внутренний диаметр червячного профиля $d_{вн} = 88{,}5$ *мм*.

Осевой шаг червячного профиля $s_{ос.з} = 15{,}729$ *мм*.

Число заходов резьбы червячного профиля на прокатываемой заготовке $n_з = 1$.

Направление резьбы — правое.

Материал фрезы — сталь Р18.

Определяем:

Диаметр заготовки под прокатку $d_з = 103{,}5$ *мм*.

Угол подъема червячного профиля на прокатываемой заготовке

$$\operatorname{tg}\omega_з = \frac{s_{ос\ з} m_з}{\pi d_з} = \frac{15{,}73 \times 1}{3{,}14 \times 103{,}5} = 0{,}0484;$$

$$\omega_з = 2^\circ 48'.$$

Принимаем:

Наружный диаметр валков $D_н = 300$ *мм*.

Внутренний диаметр валков $D_{вн} = 275$ *мм*.

Направление винтовых калибров на валках — левое.

Число заходов винтовых калибров на валке $m_в = 1$.

Осевой шаг винтовых калибров на валках $s_{ос.в} = 15{,}7$ *мм*.

Число оборотов валков в минуту $n_в = 60$.

Количество оборотов заготовки в калибрующем участке валков $q = 1$.

Радиальное единичное обжатие заготовки $\Delta r = 0{,}25$ *мм*.

Зазор между валками в процессе прокатки по трехвалковой схеме принимаем $\Delta s = 5$ *мм*.

Проверяем сводимость валков на внутренний диаметр прокатываемой заготовки червячной фрезы

$$D_{max} \leqslant 6{,}4 d_{min} - 7{,}4\Delta s; \quad 300 < 6{,}4 \times 88{,}5 - 7{,}4 \times 5; \quad 300 < 529.$$

Определяем:

Катающие диаметры валка и заготовки

$$D_к = D_к - h = 300 - 12{,}5 = 287{,}5 \text{ мм};$$

$$d_к = d_в + h = 88{,}5 + 12{,}5 = 101 \text{ мм}.$$

Угол подъема винтовых калибров на валках

$$\operatorname{tg}\omega_в = \frac{s_{ос.в} m_в}{\pi D_к} = \frac{15{,}7 \times 1}{3{,}14 \times 287{,}5} = 0{,}0174; \qquad \omega_в = 1^\circ 0'.$$

Угол разворота осей валков

$$\alpha = \omega_з - \omega_в = 2°48' - 1° = 1°48'.$$

Суммарное обжатие заготовки

$$\Delta c = \frac{d_з - d_{вк}}{2} = \frac{103{,}5 - 88{,}5}{2} = 7{,}5 \text{ мм}.$$

Угол заборного конуса валков

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{z\Delta z}{\pi d_к \operatorname{tg} \alpha} = \frac{3 \times 0{,}25}{3{,}14 \times 101 \times 0{,}0314} = 0{,}0753;$$

$$\varphi = 4°18'.$$

Длина заборного конуса валков

$$l_{з.к} = \frac{\Delta c}{\operatorname{tg} \varphi} + 0{,}5s = \frac{7{,}5}{0{,}0753} + 7{,}8 = 107 \text{ мм}.$$

Длина калибрующего участка валков

$$l_к = \pi d_к \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot q + 0{,}5s = 3{,}14 \times 101 \times 0{,}0314 \times 1 + 7{,}8 = 18 \text{ мм}.$$

Полная длина валков

$$B = \pi d_к \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\Delta c}{z\Delta r} + q \right) + s = 3{,}14 \times 101 \times 0{,}0314 \left(\frac{7{,}5}{0{,}75} + 1 \right) +$$

$$+ 15{,}7 = 125 \text{ мм}.$$

Скорость осевой подачи заготовки

$$u = \frac{\pi D_к n_в}{60} \sin \alpha = \frac{3{,}14 \times 287{,}5 \times 60}{60} = 0{,}0175 = 15{,}8 \text{ мм/сек}.$$

Определяем величину осевого шага червячного профиля на прокатанной заготовке при угле разворота осей валков $\alpha = 1° 48'$:

$$s_{ос.з} = \frac{s_{ос.в} \cos \omega}{\cos (\omega_в - \alpha)} = \frac{15{,}73 \times 0{,}9998}{0{,}9999} = 15{,}728 \text{ мм}.$$

Изменение осевого шага резьбы от температурного расширения заготовки при 1000° С:

$$\Delta t_т = \alpha s_{ос.} T = \frac{15 \times 1000 \times 15{,}729}{10^6} = 0{,}236 \text{ мм}.$$

С учетом влияния угла разворота осей валков $\alpha = 1° 48'$ и температурного расширения заготовки при 1000° С осевой шаг винтовых калибров на валке должен быть $s_{ос.в} = 15{,}96$ мм.

По принципу работы валки разделяются на две группы: валки с открытым и закрытым контуром.

При прокатке валками с закрытым контуром внутренний диаметр калибров валков ограничен допуском и цилиндрический участок их обжимает наружный диаметр прокатываемого профиля.

При прокатке валками с открытым контуром на наружном диаметре прокатываемого профиля в цилиндрическом участке валков образуется так называемый «кратер» вследствие недостаточного заполнения металлом дна калибров цилиндрического участка валков.

При прокатке ответственных резьбовых изделий, к которым предъявляются повышенные требования к точности и конфигурации профиля резьбы, а также при прокатке винтов с круглой резьбой следует применять валки с замкнутым контуром.

При прокатке крупных резьб с шагом более 6 *мм*, винтов качения, штанг-винтов, червяков, заготовок червячных фрез и других изделий с винтовой поверхностью целесообразно применять двустороннюю симметричную развалку винтовых калибров на заборном конусе валков (рис. 13). Развалка калибров улучшает условия течения металла в очаге деформации заборного конуса валков, улучшает качество прокатанного профиля, уменьшает давление металла на валки и уменьшает осевую вытяжку заготовки.

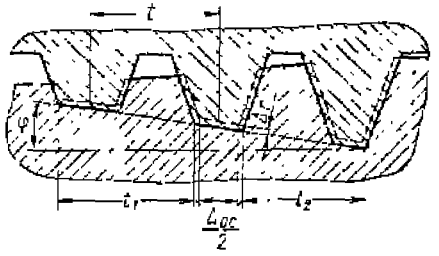


Рис. 13. Схема развалки винтовых калибров на заборном конусе валков

Для обеспечения непрерывного осевого обжатия заключенного в калибрах объема металла обе образующие поверхности калибров выполняются в виде винтовых поверхностей, шаг которых отличается от основного шага калибров t. Одна сторона калибра образована винтовой поверхностью с шагом t_1, величина которого меньше основного шага. Другая сторона образована винтовой поверхностью с шагом t_2, величина которого больше основного шага t.

При симметричной двусторонней развалке калибров шаги t_1 и t_2 отличаются от основного шага t на одинаковую величину. Этим и достигается симметричность осевого обжатия металла заготовки.

Осевое обжатие Δ_{oc} находят по формуле

$$\Delta_{oc} = \frac{k}{t} \Delta t, \tag{43}$$

где k — осевая подача за $1/z$ оборота заготовки, определяемая по формуле (38);

t — основной шаг винтового калибра;

Δt — приращение шага.

Подставив в формулу (43) выражение (38), получим формулу для определения единичного осевого обжатия

$$\Delta_{oc} = \frac{\pi \cdot \Delta t}{z \cdot t} d_к \operatorname{tg} \alpha. \tag{44}$$

При симметричном осевом обжатии металла в винтовом калибре (рис. 13) шаги образующих винтовых поверхностей определяют по следующим формулам:

$$\left.\begin{aligned} t_1 &= t - \frac{\Delta t}{2}; \\ t_2 &= t + \frac{\Delta t}{2}. \end{aligned}\right\} \qquad (45)$$

4. НАСТРОЙКА ВАЛКОВ

При поперечновинтовой прокатке изделий с винтовой поверхностью настройка валков влияет на их стойкость, качество и точность прокатанных изделий, а также на усилие и на расход энергии при прокатке. Настройка стана состоит из угловой и осевой настройки валков, настройки межцентрового расстояния валков и при двухвалковой схеме прокатки установки поддерживающих проводок.

Угловая настройка валков заключается в перекосе их по отношению к оси заготовки на угол α. Перед угловой настройкой оба валка устанавливают в осевом направлении так, чтобы перекос валков находился в плоскости, проходящей примерно посредине калибрующего участка.

В осевом направлении валки устанавливают один относительно другого так, чтобы вершины профиля одного валка находились в строго определенном положении по отношению к вершинам профиля другого. При двухвалковой схеме прокатки крупной резьбы с нечетным числом заходов вершины профиля одного валка должны находиться против впадин другого валка. При прокатке крупной резьбы с четным числом заходов вершины профиля одного валка должны совпадать с вершинами профиля другого валка.

При трехвалковой схеме прокатки однозаходной резьбы вершины профиля одного валка по отношению к вершинам профиля другого валка смещены на $^1/_3$ шага калибров валков.

При прокатке двухзаходной резьбы вершины профиля одного валка по отношению к вершинам профиля другого валка смещены на $^2/_3$ шага калибров валков. При прокатке трехзаходной резьбы вершины профиля одного валка должны совпадать с вершинами профиля другого валка.

Осевая и угловая настройка валков окончательно корректируются методом «закусывания» заготовки.

После предварительной настройки валки разводят и между ними помещают заготовку; затем валки сближают и заготовку зажимают; вручную поворачивают валки (при двухвалковой схеме прокатки на $^1/_2$ оборота заготовки, а при трехвалковой схеме прокатки на $^1/_3$ оборота заготовки), затем заготовку вынимают и по совпадению отпечатков на ней корректируют осевую и угловую настройки валков. Критерием правильной осевой и угловой на-

стройки валков является полное совпадение следов валков на заготовке.

Для определения влияний осевой настройки валков на точность прокатанной трапецендальной резьбы 36×6 в холодном состоянии был проведен эксперимент с нарушением осевой настройки. Величина осевого смещения одного валка постепенно увеличилась на 0,1 *мм*.

Прокатанную резьбу измеряли на универсально-инструментальном микроскопе УИМ-2. Как видно из табл. 2, изменение осевой настройки валков приводит к изменению толщины зуба и наружного диаметра прокатанной резьбы.

Таблица 2

Результаты измерения резьбы

Осевое смещение валка в *мм*	Диаметры резьбы в *мм*		Ширина вершины резьбы в *мм*	Угол профиля резьбы	
	наружный	внутренний		задней стороны	передней стороны
0	36,053	30,288	2,480	14°21′	12°46′
0,1	36,119	30,302	2,387	13°56′	12°50′
0,2	36,192	30,293	2,269	14°18′	12°39′
0,3	36,267	30,292	2,125	14°17′	12°40′
0,4	36,351	30,283	2,010	14°19′	12°35′
0,5	36,428	30,301	1,907	14°16′	12°48′
0,6	36,517	30,292	1,811	14°15′	12°49′
0,7	36,608	30,303	1,706	14°25′	12°45′

В процессе экспериментов установлено, что осевое смещение валка приводит к уменьшению толщины профиля и увеличению наружного диаметра прокатанной резьбы.

Настройка межосевого расстояния валков заключается в установлении расстояния, обеспечивающего получение заданных размеров внутреннего и наружного диаметра прокатываемого профиля на изделии.

Расстояние между осями валков должно быть равно сумме наружного диаметра валка и внутреннего диаметра прокатываемого профиля с учетом упругой деформации стана

$$A = D_к + d_{вн} - \delta, \qquad (47)$$

где δ — упругая деформация стана при прокатке.

Погрешности в настройке межосевого расстояния передаются на размеры наружного, среднего и внутреннего диаметров прокатываемого профиля на изделии с винтовой поверхностью.

Настройка проводок обеспечивает правильное положение заготовок при прокатке двумя валками. Нижнюю проводку уста-

навливают так, чтобы ее плоскость была ниже оси прокатки на величину

$$\frac{d_0}{2} - (0{,}2 \div 0{,}3 \text{ мм}),$$

где d_0 — наружный диаметр прокатанного профиля в мм.

При заданном межцентровом расстоянии валков внутренний диаметр прокатанного профиля (рис. 14) равен

$$d_{вн} = \frac{A}{\cos\varphi} - D_н, \qquad (48)$$

где A — межцентровое расстояние валков;

$D_н$ — наружный диаметр валка;

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{2ob}{A}.$$

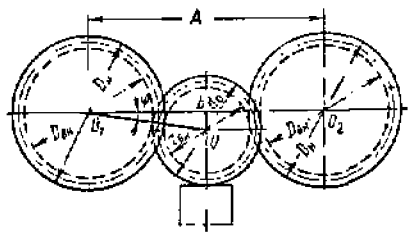


Рис. 14. Схема к определению наружного и внутреннего диаметров резьбы при изменении положения проводки

Наружный диаметр прокатанного профиля равен

$$d_0 = \frac{A}{\cos\varphi} D_{вн}, \qquad (49)$$

где $D_{вн}$ — внутренний диаметр валка.

Изменение в положении проводки приводит к изменению диаметральных размеров прокатываемого профиля.

5. МАТЕРИАЛ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛКОВ

Для изготовления валков необходимо применять материал, дающий наименьшую деформацию при термической обработке и обладающей в термически обработанном состоянии высокой твердостью и износостойкостью.

Таким требованиям при холодной прокатке резьбы удовлетворяют высокохромистые инструментальные стали Х12М, Х12Ф1, Х12ФН и Х6ВФ, которые рекомендуется применять для изготовления валков.

Сталь для изготовления валков подвергается металлографическому контролю, при котором определяют величину карбидной неоднородности и содержание неметаллических включений.

Результаты исследования подтверждают, что стойкость валков тем выше, чем меньше карбидная неоднородность стали.

Чтобы карбидная неоднородность была минимальной, рекомендуется заготовки для валков подвергать ковке при многократной осадке и вытяжке. Карбидная неоднородность не должна превышать балл № 5—6 по шкале карбидной неоднородности быстрорежущей стали (ГОСТ 5952—63). Контроль балла карбидной неоднородности производится путем разрезки одной

поковки из партии и ее исследования вдоль образующей на глубине 30—35 *мм*.

Кованые заготовки для валков, не имеющие внешних дефектов и отвечающие требованиям по микроструктуре, твердости и геометрии, подвергают механической обработке. Нарезку калибров на валках производят одновременно на всем комплекте валков. Это способствует более точному изготовлению их.

Заходы витков профиля с неполной шириной удаляют, а затем затыловывают. Острые углы срезанного профиля по высоте на заборном конусе и затылованные заходы витков закругляют по максимально допустимому радиусу. Это способствует повышению стойкости валков, снижает давление металла на валки и улучшает качество прокатанной резьбы.

Заходы витков профиля на калибрующем участке после шлифовки снова заправляют, а затем полируют. Плохо заправленные заходы витков профиля на калибрующем участке валков оставляют отпечатки на боковой стороне зуба прокатанной резьбы.

Особенностью процесса термообработки валков является ступенчатая закалка в печах и соляных ваннах. При закалке необходимо обращать внимание на предохранение инструмента от обезуглероживания путем раскисления ванн ферросилицием. Закалка с отпуском производится до твердости *HRC* 55—58, измеряемой по защищенной от обезуглероженного слоя площадке на торце валка вблизи от рабочего профиля. В этом случае твердость у рабочего профиля будет выше *HRC* 58.

Для закалки валки можно нагревать и в камерных печах. В этом случае валки помещают в металлические коробки с древесным углем. Коробки закрывают асбестовыми или металлическими крышками и обмазывают глиной.

Валки нагревают при температуре 990—1040° С, затем выдерживают в течение 2 *ч*. Охлаждение валков производится в масляной ванне при температуре масла 160—200° С в течение 1 *ч* с последующим охлаждением до комнатной температуры на воздухе. Отпуск валков в селитровой ванне при 200 ± 10° С в течение 4—5 *ч* с последующим охлаждением на воздухе.

Твердость валков после закалки и отпуска должна быть в пределах *HRC* 56—58.

При горячей прокатке валки работают в очень тяжелых условиях, поэтому для их изготовления можно рекомендовать хромовольфрамовые стали 3Х2В8 и 4Х8В2.

Закалка с отпуском должна быть до твердости *HRC* 46—50.

Чтобы обеспечить необходимую твердость, рабочий профиль на валках шлифуют на резьбошлифовальных станках. Шлифовка профиля валков после термической обработки является окончательной операцией, поэтому должна производиться с большой тщательностью. Сначала шлифуют посадочное отверстие, а затем

одновременно шлифуют весь комплект валков по рабочему профилю.

Большое значение для стойкости валков имеет соблюдение рекомендуемых при резьбошлифовании режимов.

По мере приближения при шлифовании к требуемой геометрии профиля (при последних чистовых проходах) измерение его необходимо производить на инструментальном микроскопе с обязательным применением измерительных ножей. Пользование проектором обычного типа для этой цели не желательно.

При продолжительной работе во время холодной прокатки в поверхностных слоях металла валков накапливаются остаточные внутренние напряжения, которые приводят к преждевременному разрушению рабочего профиля. Для предупреждения разрушения витков профиля валков следует после каждых 8—12 *ч* работы (машинное время) снимать у них напряжения путем отпуска. Отпуск валков, изготовленных из стали Х12М и Х12Ф1, производится в ванне с хлористым кальцием, раскисленным 5% буры. Температура ванны 500° С, а продолжительность отпуска 1 *ч*.

Рис. 15. Износ валка после холодной прокатки 2500 *пог. м* трапецеидальной резьбы 36×6 на заготовках из стали 45

Периодический отпуск валков при холодной прокатке во время эксплуатации способствует увеличению суммарной стойкости их.

Опыт промышленной эксплуатации первых опытно-промышленных станов на заводах показал, что стойкость валков при прокатке изделий с винтовой поверхностью — высокая. Так, например, при холодной прокатке круглой резьбы 22×6 на заготовках из стали 35 стойкость валков составляла 4500—5000 *пог. м* прокатанной резьбы.

При холодной прокатке трапецеидальной резьбы 36×6 на заготовках из стали 45 стойкость валков составляет 3000—3500 *пог. м* прокатанной резьбы. Состояние рабочего профиля изношенных валков показано на рис. 15.

Стойкость валков при горячей прокатке изделий с винтовой поверхностью значительно выше, чем при холодной прокатке.

Приведенные данные по стойкости валков при холодной прокатке не являются предельными, так как на заводах не соблюдались рекомендуемые технологические режимы прокатки резьбы, качество изготовления валков низкое и в процессе эксплуатации напряжения у валков не снимались.

При холодной прокатке валки выходят из строя в основном из-за разрушения витков профиля. В процессе прокатки на первых витках заборного конуса валков появляются мелкие поперечные трещины, которые под действием нагрузки увеличиваются, и начинает происходить разрушение вершин профиля. Затем зона с разрушенным профилем постепенно расширяется в направлении калибрующего участка. Наибольшее разрушение профиля всегда происходит на заборном конусе валков (рис. 15).

При проектировании валков для холодной прокатки необходимо учитывать, что изношенные валки трудно восстанавливать.

Износ валков при горячей прокатке заключается в постепенном истирании рабочего профиля, который легко восстанавливается путем перешлифовки. Это необходимо учитывать при проектировании валков для горячей прокатки.

Поддерживающие проводки выполняют в виде сменных шлифованных пластинок. При холодной прокатке пластинки изготовляют из материала с высокой твердостью (пластинки из твердого сплава Т15К6 или из закаленной быстрорежущей стали Р18). Эти проводки обладают высокой износостойкостью.

При горячей прокатке сменные пластины наплавляют твердым сплавом сормайт, а затем шлифуют по рабочей плоскости.

ГЛАВА II

ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА КРУПНЫХ РЕЗЬБ

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОКАТКИ

Холодная прокатка крупных резьб и других изделий с винтовой поверхностью сопровождается значительной деформацией металла. Максимально допустимая деформация при холодной прокатке определяется пластическими свойствами материала заготовки. Степень деформации металла растет с увеличением шага и высоты прокатываемой резьбы.

В результате проведенных экспериментальных работ и опыта промышленного внедрения процесса установлена возможность холодной прокатки винтов с трапецеидальной и круглой резьбой на деталях из конструкционной углеродистой стали с шагом резьбы до 10 *мм*.

При более высокой степени деформации металла последний теряет способность к пластической деформации, поэтому наступает разрушение поверхностных слоев, отслаивание частиц металла и резко снижается стойкость валков.

Во ВНИИметмаше с участием авторов разработана и внедрена в промышленность технология холодной прокатки круглой резьбы 22×6, скругленной резьбы 36×6 и 57×6, трапецеидальной резьбы 36×6, 57×6, 52×8, 52 / (2×8), 55× (2×8), 60×8 и 65×10 (рис. 16) [7].

Основные размеры и число заходов винтовых калибров валков для прокатки этих резьб на двухвалковых и трехвалковых станах приведены в табл. 3 и 4.

Скорость холодной прокатки крупных резьб является одним из основных технологических параметров процесса, определяющих качество и точность прокатанной резьбы, стойкость валков и производительность процесса. Под скоростью прокатки подразумевается окружная скорость валков.

При холодной прокатке крупных резьб существуют оптимальные скорости прокатки, выше которых процесс прокатки становится невозможным. Скорость прокатки зависит от гео-

метрии профиля и шага резьбы, механических свойств металла заготовки, технологической смазки и чистоты поверхности калибров валков. Интенсивная пластическая деформация металла, трение о проводки и скольжение по профилю валков, происходящие при больших удельных давлениях, сопровождаются выделением тепла и нагревом прокатываемой заготовки до температуры 200—250° С. С увеличением скорости прокатки резко повы-

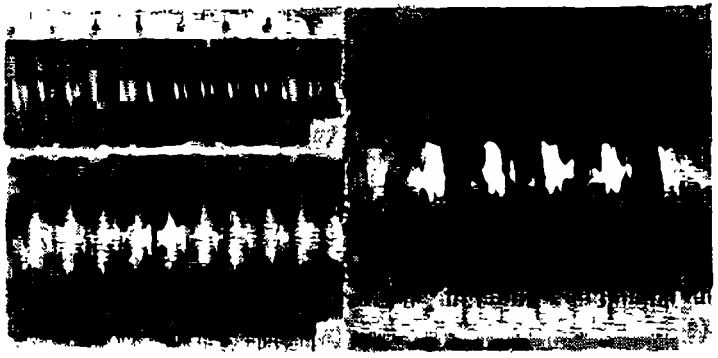


Рис. 16. Резьба, прокатанная в холодном состоянии:
а — круглая резьба 22×6; б — скругленная резьба 36×6; в — трапецеидальная резьба 52× (2×8)

шается температура заготовки. Большая деформация и высокая температура отрицательно влияют на точность и чистоту поверхности прокатанной резьбы и стойкость валков.

Таблица 3

Основные размеры валков в *мм* для двухвалковых станов

Прокатываемые резьбы	Наружный диаметр $D_к$+0,15	Внутренний диаметр $D_{вн}$—0,15	Ширина валков B+0,1	Длина забурного конуса $l_{з.к}$	Угол забурного конуса φ+15′	Число заходов калибров $n_в$
Круглая 22×6	180	175,8	50	30	2°00′	4
Скругленная 36×6	190	183	60	40	2°30′	1
» 57×6	190	183	60	40	2°30′	8
Трапецеидальная 36×6	190	183	60	40	2°30′	1
» 57×6	190	183	60	40	2°30′	8
» 52×8	200	191	85	65	2°40′	1
» 52 (2×8)	200	191	85	65	2°40′	5
» 55 (2×8)	200	191	85	65	2°40′	5
» 60×8	200	191	85	65	2°40′	1
» 65×10	210	199	90	65	3°00′	1

Таблица 4

Основные размеры валков в мм для трехвалковых станов

Прокатываемые резьбы	Наружный диаметр $D_н$ +0,15	Внутренний диаметр $D_{вн}$ —0,15	Ширина валков B +0,1	Длина винтового конуса $l_к$	Угол заборного конуса φ —15	Число заходов калибров $n_в$
Скругленная 36 6	170	163	50	35	2°56′	1
» 57 6	180	173	50	35	2°56′	8
Трапецеидальная 36 6	170	163	50	35	2°56′	1
» 57 6	180	173	50	35	2°56′	8
» 52 8	190	181	75	55	3°30′	1
» 52 (2 8)	190	181	75	55	3°30′	5
» 55 (2 8)	190	181	75	55	3°30′	5
» 60 8	190	181	75	55	3°30′	1
» 65 10	200	189	80	60	4°00′	1

С повышением скорости прокатки появляется склонность к налипанию металла на поддерживающие проводки. Если налипание металла возникло, то оно быстро прогрессирует. Налипание металла является причиной задиров и вмятин на профиле прокатанной резьбы.

Оптимальные скорости при холодной прокатке крупной резьбы находятся в пределах 10—15 *м/мин*.

Холодная прокатка резьбы производится при обильном поступлении в зону деформации охлаждающей жидкости, которая служит технологической смазкой валков, поддерживающих проводок и заготовки, отводит тепло и смывает с них остающиеся от прокатываемых заготовок грязь и частицы металла.

В качестве охлаждающей жидкости при холодной прокатке крупной резьбы рекомендуется применять сульфофрезол, обладающий сравнительно малой вязкостью и высокой смазывающей способностью.

При отсутствии сульфофрезола можно использовать обычную эмульсию. Применять вязкие жидкости и масла не рекомендуется, так как в этом случае с калибров валков плохо смываются частицы металла, которые портят поверхность резьбы.

Многократными анализами охлаждающей жидкости (сульфофрезола) и осадка в емкости для охлаждающей жидкости обнаружено сильное загрязнение сульфофрезола мельчайшей металлической стружкой, снятой с заготовок в процессе холодной прокатки резьбы. Стружка вызывает повышенный износ валков и ухудшает качество прокатанной резьбы. Чтобы предотвратить загрязнение, необходимо менять охлаждающую жидкость не реже двух раз в месяц (при двухсменной работе).

При прокатке крупных резьб величины радиальных единичных обжатий заготовки Δr определяют расчетом калибровки валков

(см. гл. I). Экспериментально установлено, что при холодной прокатке крупной резьбы с очень малыми обжатиями (менее 0,01 *мм*) появляется шелушение металла во впадинах прокатанной резьбы.

С увеличением радиальных обжатий возрастает давление металла на валки, момент прокатки и потребляемая мощность. Оптимальные радиальные обжатия при холодной прокатке трапецеидальной и круглой резьбы с шагом до 10 *мм* составляют 0,05—0,15 *мм*.

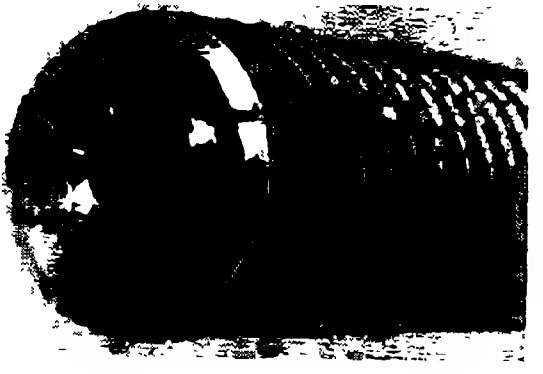


Рис. 17. Полая заготовка с $D = 42$ *мм* и $d_в = 10$ *мм* после холодной прокатки полукруглого профиля резьбы винта качения 45×4,8 (прокатка без оправки)

При холодной прокатке крупной резьбы на полых заготовках с оправкой и без оправки изменение внутреннего отверстия в заготовке не происходит.

Исследовали полые заготовки с постоянным наружным диаметром $D = 54$ *мм* и переменным внутренним диаметром $d_в = 26 \div 42$ *мм* при прокатке скругленной резьбы 57×6 и полые заготовки $D = 42$ *мм*, $d_в = 6 \div 12$ *мм* при прокатке полукруглого профиля резьбы винта качения 45×8,4 (см. рис. 20).

Опыты показали, что изменений внутреннего отверстия в заготовке не происходит. Если стенка полой заготовки выдерживает усилие, возникающее при прокатке, то на заготовке прокатывается резьба без дефектов. При недостаточной прочности стенки заготовки с отношением внутреннего диаметра к наружному $\frac{d_в}{D} > 0{,}35$ при прокатке скругленной резьбы 57×6 и $\frac{d_в}{D} > 0{,}25$ при прокатке полукруглого профиля резьбы винта качения 45×8,4 появляются продольные трещины и заготовка разрушается (рис. 17).

2. ПРОКАТКА ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ ВИНТОВ КАЧЕНИЯ

В ряде ведущих отраслей машиностроения, за последние годы, все большее применение находят передачи винт — гайка качения. Они применяются в автомобилестроении, станкостроении, судостроении, самолетостроении и т. д.

Основные виды профиля резьбы винта и гайки качения приведены на рис. 18.

Главные преимущества передач винт — гайка качения:

1) низкие потери на трение; к. п. д. этих передач достигает значений 0,9—0,95 по сравнению с 0,2—0,4 для передач винт — гайка скольжения;

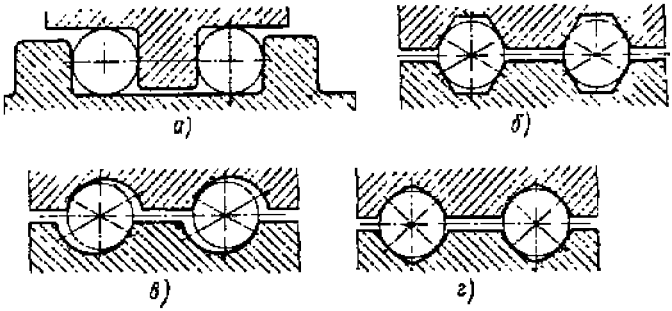


Рис. 18 Основные виды профиля резьбы винта и гайки качения

2) почти полная независимость силы трения от скорости и весьма малое трение покоя, что обеспечивает устойчивость (равномерность) движения;

3) возможность полного устранения зазора в резьбе и создания натяга, обеспечивающего высокую осевую жесткость.

Передачи с прямоугольными трапецеидальными профилями резьбы (рис. 18, *а*, *б*) имеют низкую нагрузочную способность, так как большое различие кривизны соприкасающихся поверхностей приводит к высоким контактным напряжениям, что ограничивает их промышленное применение. Наиболее распространенными являются передачи с полукруглым профилем резьбы и профилем «стрельчатая арка» (рис. 18, *в*, *г*).

Существующие способы изготовления винтов качения на металлорежущих станках весьма трудоемки, малопроизводительны и не решают проблему массового производства таких винтов.

Во ВНИИметмаш с участием авторов разработан технологический процесс прокатки профиля резьбы винтов качения.

При прокатке профиля прямоугольной резьбы винтов качения образуется подрезка профиля [8]. Наибольшая подрезка профиля прямоугольной резьбы происходит при прокатке ее валками с кольцевыми калибрами (рис. 19).

Максимальная величина подрезки Δ_{max} определяется по формуле

$$\Delta_{max} = Y_{max} \operatorname{tg}\alpha - \frac{t}{2\pi} - \frac{t}{2\pi} \arcsin \frac{Y_{max}}{r_н},$$

где Y_{max} — ордината сечения в месте наибольшей подрезки;

$$Y_{max} = r_н \sqrt{1 - \left(\frac{\operatorname{tg}\beta_н}{\operatorname{tg}\alpha}\right)^2};$$

α — угол разворота осей валков;
$\beta_н$ — угол подъема прокатываемой резьбы по наружному диаметру;
$r_н$ — наружный радиус резьбы.

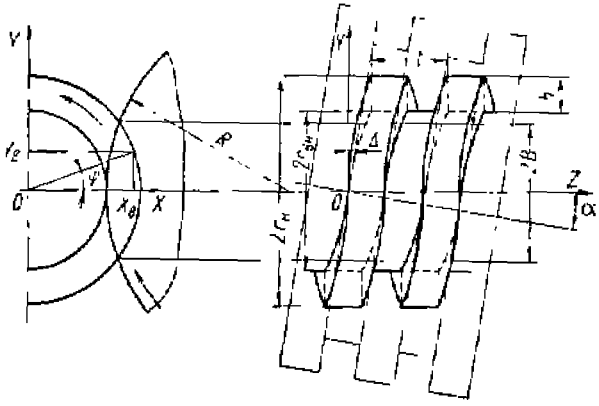


Рис. 19. Схема подрезки профиля прямоугольной резьбы при прокатке валками с кольцевыми калибрами

Прокатку полукруглого профиля резьбы и профиля «стрельчатая арка» винтов качения целесообразно производить валками с двусторонней симметричной развалкой винтовых калибров на заборном конусе.

Чтобы исследовать влияние геометрии заборного конуса валков на давление металла на валки, крутящие моменты, а также на качество прокатанной резьбы и осевую вытяжку заготовки, прокатку полукруглого профиля резьбы винта качения 45×8,4 (рис. 20) производили тремя комплектами валков с винтовыми калибрами (рис. 21) с постоянным радиальным единичным обжатием $\Delta r = 0{,}13$ *мм*. Эти валки отличались (один комплект от другого) только величиной двусторонней симметричной развалки винтовых калибров на заборном конусе.

Первый комплект валков не имел развалки винтовых калибров на заборном конусе.

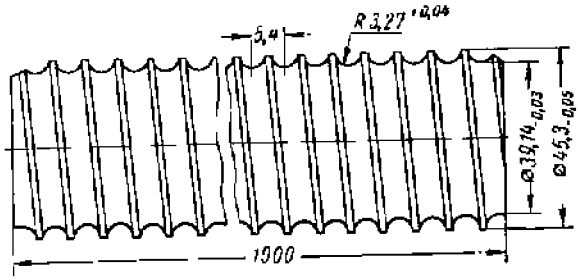


Рис. 20. Винт качения с полукруглым профилем резьбы 45×8,4

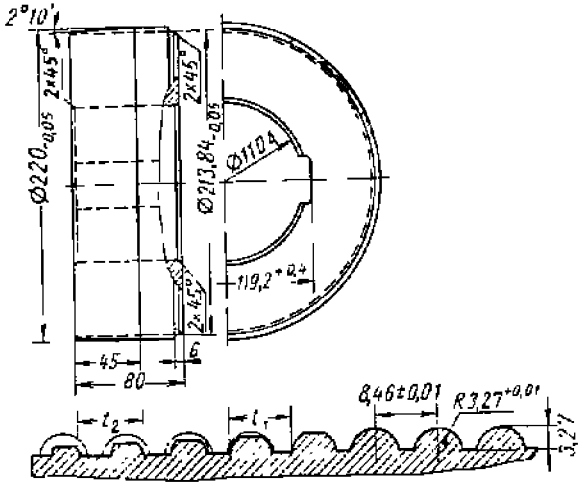


Рис. 21. Валки с двусторонней симметричной развалкой винтовых калибров

Рис. 22. Прокатанная полукруглая резьба 45×8,4 винта качения в холодном состоянии

Второй комплект валков имел двустороннюю симметричную развалку винтовых калибров $t_1 = 8{,}28$ *мм* и $t_2 = 8{,}64$ *мм* с приращением шага $\Delta t = \pm 0{,}18$ *мм*.

Третий комплект валков имел двустороннюю симметричную развалку калибров $t_1 = 8{,}16$ *мм* и $t_2 = 8{,}76$ *мм* с приращением шага $\Delta t = \pm 0{,}30$ *мм*.

Профиль резьбы (рис. 22) прокатывали как в холодном, так и в горячем состоянии на сплошных и полых заготовках, изготовленных из сталей различных марок. Полученные результаты исследования освещаются в соответствующих разделах данной книги.

В настоящее время ВНИИметмашем совместно с ЭНИМСом разрабатывается комплексный технологический процесс изготовления винтов качения для станкостроения с применением процесса поперечновинтовой прокатки.

3. КАЧЕСТВО ВИНТОВ С ПРОКАТАННОЙ РЕЗЬБОЙ

Обычный способ изготовления крупной резьбы — снятие стружки — у прокатанных и кованых материалов приводит к перерезанию волокон и, следовательно, к понижению прочности деталей.

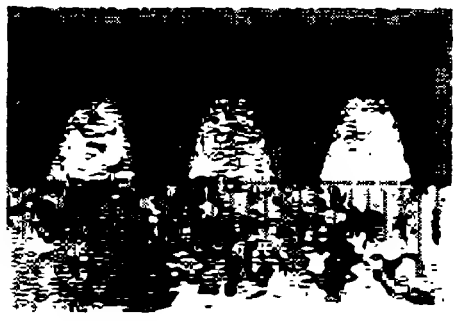


Рис. 23. Макрошлиф прокатанной трапецендальной резьбы 41×8 в холодном состоянии. ×1,5

При изготовлении резьбы способом поперечновинтовой прокатки происходит значительное изменение структуры наружного слоя металла заготовки: он получает волокнистое строение. Волокна металла ориентированы по профилю резьбы и сильно уплотнены во впадине (рис. 23).

Физико - механические свойства наружного слоя металла заготовки значительно отличаются от свойств металла в центральной зоне заготовки. С увеличением степени деформации увеличиваются все показатели сопротивления металла деформированию, т. е. металл упрочняется, повышаются пределы пропорциональности, текучести, прочности и твердость. Показатели пластичности, напротив, при холодной деформации понижаются.

Микроструктурный анализ металла винтов с прокатанной резьбой позволяет установить изменение структуры металла на отдельных участках профиля прокатанной резьбы. Наибольший интерес для исследования представляет изучение изменения структуры во впадинах резьбы, так как эти места могут быть очагами

концентрации напряжений и здесь наиболее вероятно возникновение усталостных микротрещин у винтов.

Наличие закругления во впадине прокатанной резьбы значительно повышает прочность детали особенно ее усталостную прочность. Поэтому у ответственных резьбовых деталей, работающих в условиях приложения динамических нагрузок, предусматривается закругление во впадине резьбы.

Наклеп, которому подвергается металл во время холодной пластической деформации, повышает его поверхностную твердость.

Для количественной оценки упрочненного слоя определяется глубина наклепанного слоя h (от поверхности до недеформированных зерен) и степень наклепа ΔH:

$$\Delta H = \frac{H_{пр} - H_{исх}}{H_{исх}} 100\%, \qquad (50)$$

где $H_{исх}$ — исходная твердость материала заготовки;

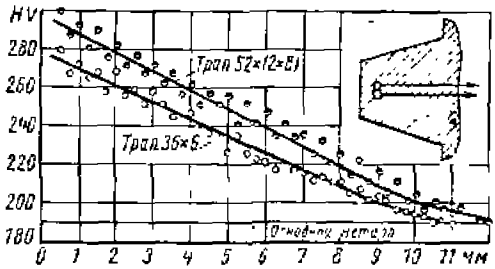
$H_{пр}$ — наибольшая твердость наклепанного слоя.

Изменение твердости по сечению профиля прокатанной резьбы производилось на приборе Виккерса. Результаты измерения твердости на отдельных участках по сечению зуба и впадины трапецеидальной резьбы 36×6 и 52× (2×8) и скругленной резьбы 36×6, прокатанной в холодном состоянии на заготовках из стали 45 валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе, приведены на рис. 24 и 25.

Как видно из рис. 24 и 25, твердость уменьшалась от поверхности к середине образца и постепенно достигала своего исходного значения (HV 195). Все сечение зуба резьбы оказалось наклепанным. Наибольшая твердость HV 310 получена во впадине резьбы. Степень наклепа составляет 40—45%. Глубина наклепанного слоя при прокатке резьбы на заготовках одинакового материала зависит от шага и геометрии резьбы и единичного радиального обжатия. Так, например, при прокатке трапецеидальной резьбы 52× (2×8) глубина наклепанного слоя во впадине резьбы составляет 7 *мм* и по зубу 10 *мм*, а при прокатке трапецеидальной резьбы 36×6 глубина наклепанного слоя во впадине резьбы составляет 5 *мм* и по зубу 8 *см*.

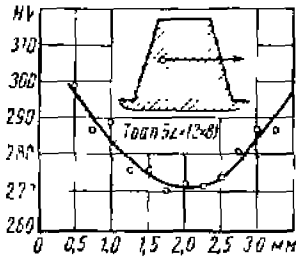
На рис. 26 показана зависимость глубины наклепанного слоя от величины радиального единичного обжатия при прокатке трапецеидальной резьбы 36×6 на заготовках из стали 45 валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе. Из рис. 26 следует, что чем больше величина радиального единичного обжатия, тем больше глубина наклепанного слоя.

Чтобы выяснить влияние двусторонней симметричной развалки винтовых калибров на заборном конусе валков на глубину наклепанного слоя и степень наклепа, полукруглый профиль резьбы винта качения 45×8,4 прокатывали тремя комплектами валков (см. рис. 21) на заготовках из стали 45.



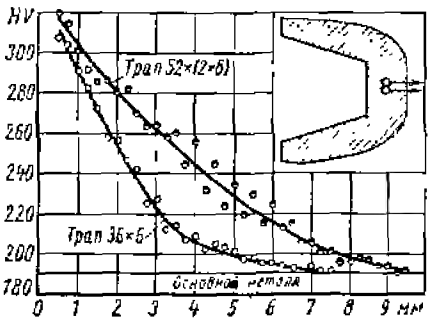
Расстояние от вершины зуба резьбы

а)



Расстояние от боковой поверхности зуба резьбы

в)



Расстояние от впадины резьбы

б)

Рис. 24. Распределение твердости по сечению профиля у прокатанной трапецеидальной резьбы 52× (2×8):

а — от вершины зуба к его основанию, *б* — от впадины резьбы к центру винта; *в* — посередине зуба резьбы

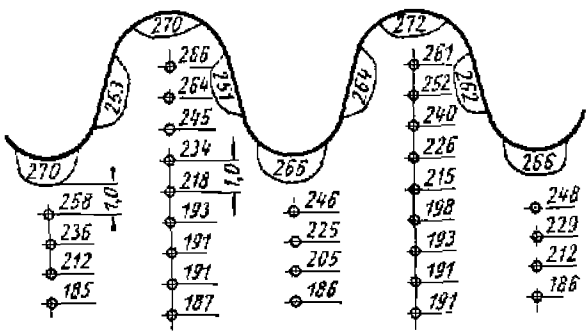


Рис. 25. Распределение твердости *HV* по сечению профиля у прокатанной скругленной резьбы 36×6

Результаты измерения твердости на отдельных участках по сечению зуба и впадины резьбы винтов, прокатанных в холодном состоянии, приведены на рис. 27.

На рис. 27 видно, что степень наклепа и глубина наклепанного слоя тем выше, чем больше развалка винтовых калибров на заборном конусе валков. Кривые *1* (рис. 27) показывают изменение наклепа поверхностного слоя по сечению зуба и впадины резьбы, прокатанной валками с наибольшей развалкой винтовых калибров на заборном конусе с $\Delta t = \pm 0{,}30$ *мм*. Кривые *2* характери-

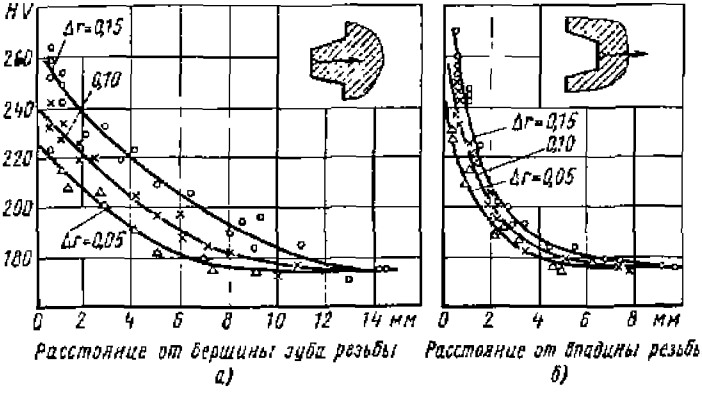


Рис. 26. Распределение твердости по сечению профиля у прокатанной трапецеидальной резьбы 36×6 в зависимости от единичных радиальных обжатий:

а — от вершины зуба к его основанию; *б* — от впадины резьбы к центру винта

зуют изменение наклепа поверхностного слоя профиля резьбы, прокатанной валками с меньшей развалкой винтовых калибров на заборном конусе с $\Delta t = \pm 0{,}18$ *мм*.

Кривые *3* показывают изменение наклепа поверхностного слоя профиля резьбы, прокатанной валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе.

Для исследования степени и глубины наклепанного слоя на заготовках из различного материала заготовки под прокатку изготовляли из сталей Ст. 3, 35, 45 и 12ХН3А. Полукруглый профиль резьбы винта качения 45/8,4 прокатывали валками (см. рис. 21) с наибольшей развалкой винтовых калибров на заборном конусе с $\Delta t = \pm 0{,}30$ *мм*.

Результаты измерения твердости на отдельных участках по сечению зуба и впадины резьбы, прокатанной на заготовках из сталей различных марок, приведены на рис. 28.

Из данных рис. 28 видно, что при поперечновинтовой прокатке полукруглого профиля резьбы винтов качения степень наклепа

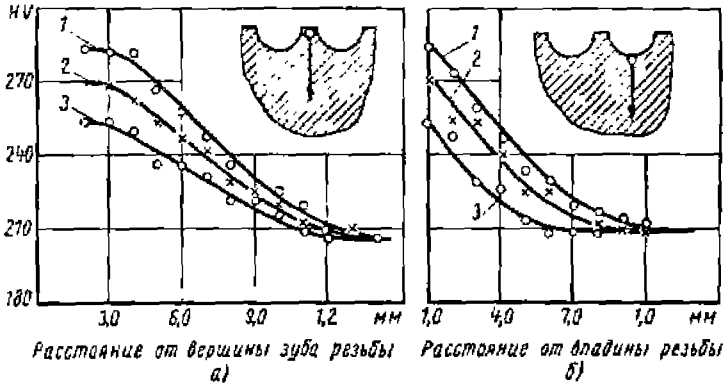


Рис. 27. Распределение твердости по сечению профиля у прокатанной полукруглой резьбы 45×8,4 винта качения в зависимости от величины двусторонней симметричной развалки винтовых калибров на заборном конусе валков:

а — от вершины зуба к его основанию; *б* — от впадины резьбы к центру винта

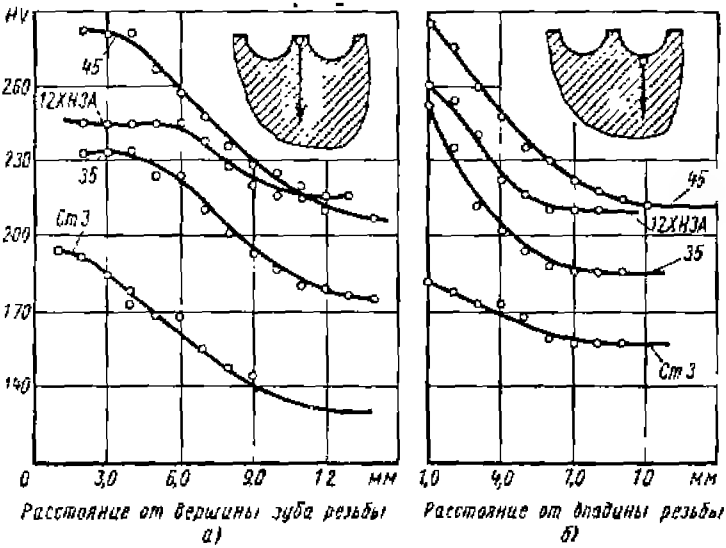


Рис. 28. Распределение твердости по сечению профиля у прокатанной полукруглой резьбы 45×8,4 винта качения в зависимости марки стали заготовки:

а — от вершины зуба к его основанию; *б* — от впадины к центру винта

у углеродистых сталей высокая. Поэтому применение этого процесса при изготовлении винтов качения, безусловно, даст положительные результаты.

Чтобы выяснить влияние изменения структуры и твердости наружного слоя прокатанной резьбы на прочность при статических нагрузках, испытанию подвергали образцы с нарезанной и прокатанной в холодном состоянии трапецеидальной резьбы 36×6, изготовленные из стали 45 одной плавки с пределом текучести $\sigma_т = 39$ *кГ/мм*², пределом прочности $\sigma_в = 71$ *кГ/мм*², относительным удлинением $\psi = 32\%$ и относительным сужением $\delta = 32\%$.

Резьбу прокатывали валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе. Образцы испытывали на срез витков и разрыв тела винта на машине ИМЧ-60.

Неполные по ширине витки резьбы с торца образцов и гаек были удалены.

Как видно из табл. 5, прочность прокатанной резьбы при статических нагрузках выше прочности нарезанной резьбы на 18—23% при испытании на срез витков и на 10% при испытании на разрыв тела винта.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов на прочность

Испытания	Разрушающая нагрузка в *т*	
	для нарезанной резьбы	для прокатанной резьбы
На срез одного витка	16	19
» » двух витков	29	36
» » трех витков	42	52
» разрыв тела винта	53	58

Для сравнения прочности при усталостном симметричном изгибе винтов с нарезанной и прокатанной в холодном состоянии резьбой испытывали образцы с трапецеидальной резьбой 30×6, изготовленные из стали 45 одной плавки ($\sigma_т = 38{,}5$ *кГ/мм*², $\sigma_в = 70$ *кГ/мм*², $\delta = 21{,}7\%$ и $\psi = 39{,}5\%$).

Резьбу прокатывали валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе.

Испытания на усталость проводили на четырехшпиндельной машине ОМ-1 центробежного типа с числом циклов 1000 в минуту.

В результате испытаний были получены две усталостные кривые (рис. 29) с пределами выносливости $\sigma_{-1} = 11{,}8$ *кГ/мм*² нарезанной и $\sigma_{-1} = 38{,}5$ *кГ/мм*² прокатанной резьбы.

Из рис. 29 видно, что при усталостном симметричном изгибе прочность прокатанной резьбы больше в 3 раза, чем нарезанной.

Для сравнения прочности при усталостном переменном растяжении испытывались винты с нарезанной и прокатанной в холодном состоянии трапецеидальной резьбой 44×8, изготовленные из стали 45 одной плавки ($\sigma_т = 31{,}9$ *кГ/мм²*, $\sigma_в = 62.8$ *кГ/мм²*, $\delta = 23{,}7\%$ и $\psi = 41\%$).

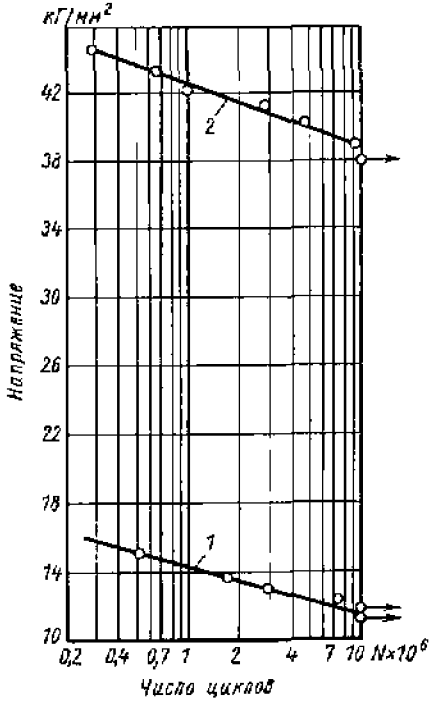


Рис. 29. Кривые усталостной прочности при симметричном изгибе винтов с трапецеидальной резьбой 36×6:

1 — нарезанная резьба; *2* — прокатанная резьба

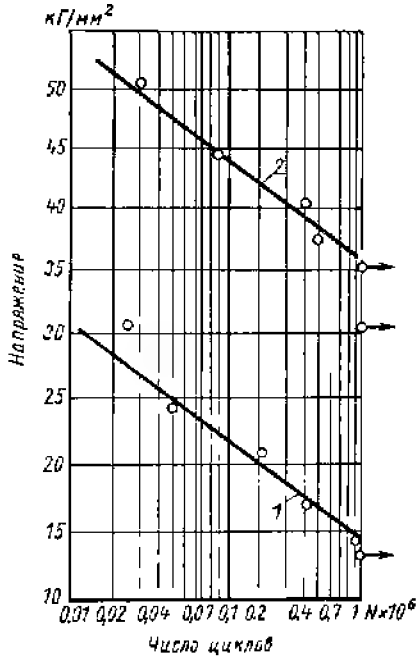


Рис 30. Кривые усталостной прочности при переменном растяжении винтов с трапецеидальной резьбой 44×8:

1 — нарезанная резьба; *2* — прокатанная резьба

Резьбу винтов прокатывали валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе.

Испытания проводили на машине типа ЦДМ-200 *т* с частотой испытания 500 циклов в минуту.

В результате испытаний были получены две усталостные кривые (рис. 30) с пределами выносливости $\sigma_{-1} = 13{,}7$ *кГ/мм²* нарезанной и $\sigma_{-1} = 36{,}2$ *кГ/мм²* прокатанной резьбы. Таким образом прочность прокатанной резьбы при усталостном переменном растяжении больше 3,5 раза, чем нарезанной.

Из приведенных данных следует, что холодная прокатка крупных резьб улучшает физические свойства металла заготовки

и в некоторых случаях становится ненужной последующая термообработка. Кроме того, при холодной прокатке можно использовать более дешевые стали: углеродистую или малоуглеродистую вместо высоколегированной стали.

Чистота поверхности прокатанной резьбы получается, как правило, выше чистоты поверхности калибров валков. Так, при холодной прокатке валками со шлифованными калибрами шероховатость поверхности прокатанной резьбы соответствует 8—9-му классу чистоты: при прокатке резьбы валками, имеющими шероховатость поверхности 6-го класса чистоты, шероховатость поверхности прокатанной резьбы соответствует 7—8-му классу чистоты. Это объясняется тем, что при наличии разных окружных скоростей по обе стороны катающего диаметра валка происходит скольжение металла заготовки по калибрам валков и сглаживающее действие сил трения дает значительный эффект.

4. ТОЧНОСТЬ ПРОКАТАННОЙ РЕЗЬБЫ ВИНТОВ

На точность прокатанной резьбы помимо точности изготовления заготовки влияет жесткость стана, точность угловой и осевой настройки валков, точность изготовления валков, погрешности, возникающие в результате перенесения формы калибров на прокатываемую заготовку, и режимы прокатки.

Малая жесткость стана оказывает непосредственное влияние на величину рассеивания размеров прокатываемой резьбы.

Биение валков приводит к отклонениям диаметров, шага и угла профиля прокатываемой резьбы.

Погрешности при изготовлении валков могут быть следующие: несоответствие угла наклона винтовых калибров валка расчетному значению; отклонение угла боковой поверхности и шага калибра от их номинальных значений; неточность деления окружности валка на число заходов винтовых калибров.

Погрешности перенесения формы винтовых и кольцевых калибров валков на прокатываемую заготовку и погрешности угловой и осевой настройки валков рассмотрены в гл. I.

Правильно выбранный режим прокатки резьбы обеспечивает высокую производительность, высокую стойкость валков и высокую точность прокатываемой резьбы.

Как показали результаты исследования, режим прокатки оказывает непосредственное влияние на точность прокатанной резьбы.

При прокатке профиля резьбы с открытым контуром калибров валков без обжатия наружного диаметра прокатываемой резьбы происходит бо́льшее рассеивание элементов профиля резьбы, чем при прокатке с закрытым контуром калибров валков с обжатием наружного диаметра резьбы. При малых величинах радиального единичного обжатия (0,02—0,03 *мм*) увеличивается величина рас-

сеивания размеров профиля резьбы и происходит перенаклеп поверхностного слоя металла.

При больших величинах радиального единичного обжатия (0,2—0,3 *мм*) при холодной прокатке крупных резьб уменьшается жесткость стана, которая вносит погрешности в элементы профиля прокатываемой резьбы, и резко снижается стойкость валков.

Скорость холодной прокатки крупных резьб является одним из основных параметров режима прокатки, определяющих качество и точность прокатываемой резьбы. Увеличение скорости прокатки свыше оптимальной (10—15 *м/мин*) резко повышает температуру заготовки.

Большая деформация и высокая температура увеличивают рассеивание элементов профиля резьбы и ухудшает чистоту ее поверхности.

Для измерения точности прокатанной резьбы в холодном состоянии прокатывалась трапецеидальная резьба 52×8 на лабораторном стане ЦКБММ-3 и трапецеидальная резьба 36×6 на промышленном стане 2ХПВ-25. Резьбу прокатывали при окружной скорости валков 15 *м/мин* без обжатия наружного диаметра резьбы.

Прокатка трапецеидальной резьбы 52×8 производилась пятизаходными валками с радиальным единичным обжатием 0,071 *мм*. Трапецеидальная резьба 36×6 прокатывалась однозаходными, двухзаходными и трехзаходными валками с радиальным единичным обжатием 0,05, 0,10 и 0,15 *мм*.

Валки для прокатки трапецеидальной резьбы 52×8 имели радиальное биение наружного и внутреннего диаметров 0,02—0,03 *мм*, колебание шага 0,038 *мм* и угла профиля 0°17″, а для прокатки трапецеидальной резьбы 36×6 биение наружного и внутреннего диаметров валков составляло 0,036—0,038 *мм*, колебание шага 0,027—0,017 *мм* и угла профиля 0°15″.

Трапецеидальную резьбу 52×8 прокатывали на заготовках диаметром 47,6 *мм* и длиной 800 *мм*. Колебание диаметра по длине заготовок составляло 0,03—0,05 *мм*.

Трапецеидальную резьбу 36×6 прокатывали на заготовках диаметром 32,8 *мм* и длиной 190 *мм*. Колебание диаметра по длине заготовок составляло 0,04—0,06 *мм*.

За неимением средств, позволяющих измерять резьбы на длинных винтах, из каждого винта с прокатанной трапецеидальной резьбой 52×8 отрезали по три образца длиной 200 *мм*.

На универсальном инструментальном микроскопе УИМ-2 измеряли шаг, угол профиля, наружный и внутренний диаметры прокатанной резьбы. Всего было сделано и обработано около 5000 измерений.

При обработке полученных измерений был применен статистический метод исследования технологических процессов в отношении точности обработки [10].

Среднее арифметическое значение определялось по уравнению

$$\bar{x}_{ср} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad (51)$$

где n — количество измерений.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}. \qquad (52)$$

Средняя ошибка

$$\beta = \frac{\sum (x_i - x_{ср})}{\sqrt{n(n-1)}}. \qquad (53)$$

Размах варьирования

$$R = x_{max} - x_{min}. \qquad (54)$$

На рис. 31 приведены кривые распределения отклонений размеров трапецеидальной резьбы 52×8. Эти отклонения в основном

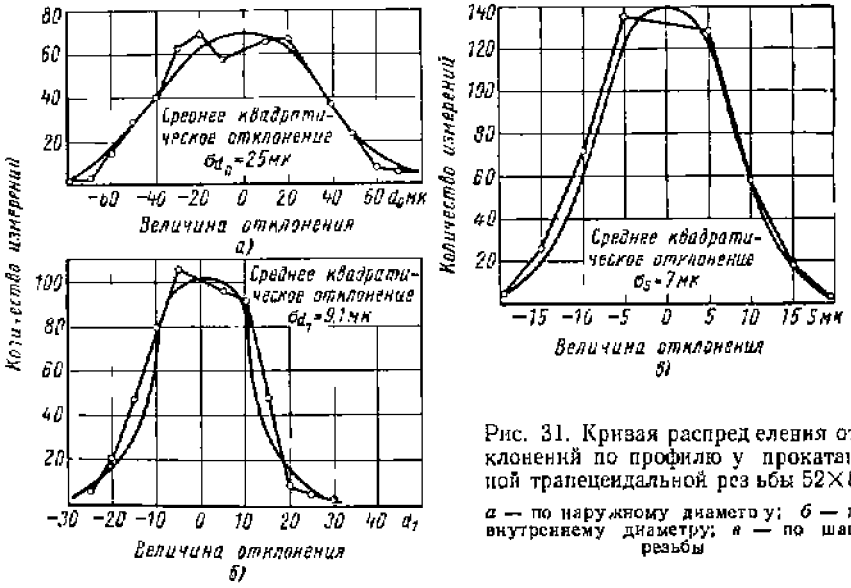


Рис. 31. Кривая распределения отклонений по профилю у прокатанной трапецеидальной резьбы 52×8:

а — по наружному диаметру; *б* — по внутреннему диаметру; *в* — по шагу резьбы

укладываются в диапазоне $\pm 2\sigma$. Распределение отклонения соответствует нормальному закону распределения Гаусса.

Измерения показали, что с увеличением числа заходов калибров на валках точность прокатанной резьбы по наружному и внутреннему диаметрам уменьшается. По-видимому, это вызвано меньшей точностью изготовления многозаходных валков.

Прокатанная резьба в холодном состоянии отличается высокой стабильностью размеров профиля: по нормали ЭНИМСа, для ходовых винтов точность прокатанной резьбы соответствует 4-му классу.

Полученные в наших исследованиях отклонения в размерах профиля прокатанной резьбы не присущи процессу поперечно-винтовой прокатки изделий с винтовой поверхностью, а являются следствием недостаточной жесткости станов и точности изготовления валков.

Винты с прокатанной резьбой подвергались измерению на биение профиля резьбы относительно предварительных центров заготовки. В результате проверки установлено, что смещения профиля резьбы от центров заготовки и изгиба оси у винтов в процессе прокатки не происходит.

ГЛАВА III

ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА ИЗДЕЛИЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОКАТКИ

Вследствие высокой пластичности металла при горячей прокатке облегчается его течение и формование профиля с винтовой поверхностью на прокатываемой заготовке.

Давление металла на валки и потребляемая мощность при горячей прокатке значительно снижаются, что дает возможность применять менее мощное оборудование.

Во ВНИИМетмаше с участием авторов разработана и внедрена в промышленность технология горячей прокатки трапецеидальной резьбы 36×10 и 40×(2×10) винтов колонковых электробуров, круглой резьбы 100×20 и 104×24 винтов шахтной крепи, скругленной резьбы 44×8 винтов к металлическим трубчатым стойкам и других изделий с винтовой поверхностью.

Основные размеры и число заходов винтовых калибров валков для прокатки этих резьб на двухвалковых и трехвалковых станах приведены в табл. 6 и 7.

Таблица 6

Основные размеры валков в *мм* для двухвалковых станов

Прокатываемые резьбы	Наружный диаметр $D_в$ +0,15	Внутренний диаметр $D_{вн}$ 0,15	Ширина валков B +0,1	Длина заборного конуса $l_{з.к}$	Угол наборного конуса φ ±15′	Число заходов калибров $m_в$
Трапецеидальная 36×10	210	199	70	45	3°35′	3
» 40×(2×10)	210	199	70	45	3°35′	6
Скругленная 44×8	210	201	65	40	3°18′	1
Круглая 100×20	250	231	115	68	4°00′	1
» 104×24	260	237	135	80	4°10′	1

Таблица 7

Основные размеры валков в *мм* для трехвалковых станов

Прокатываемые резьбы	Наружный диаметр $D_к^{+0,15}$	Внутренний диаметр $D_{вн}^{-0,15}$	Ширина валков $B^{+0,1}$	Длина заборного конуса $l_{з.к}$	Угол забирного конуса $\varphi = 15'$	Число заходов калибров m_0
Трапецеидальная 40×(2·10)	170	159	65	40	4°00′	6
Скругленная 44×8	200	191	60	35	3°50′	1
Круглая 100×20	230	211	105	65	4°10′	1
» 104×21	240	217	125	75	4°30′	1

Горячая прокатка производится при окружной скорости валков от 20 до 50 *м/мин*. Изменение скорости валков в указанных пределах не влияет на геометрию профиля и точность размеров прокатываемых резьб.

Опыт показывает, что горячую прокатку можно вести при более высокой скорости валков, если это необходимо.

При горячей прокатке подобных резьб скорость вращения валков ограничивается скоростью нагрева заготовок т. в. ч. и необходимостью получения прямолинейности винтов.

При горячей прокатке допускаются бо́льшие величины радиального единичного обжатия (0,15—0,5 *мм*), чем при холодной прокатке.

При горячей прокатке крупных резьб на точность и качество резьбы большое влияние оказывает равномерность и стабильность температуры нагрева заготовок. Наиболее удобным способом нагрева заготовок под прокатку является нагрев их т. в. ч.

При прокатке длинных винтов с крупной резьбой целесообразно применять цилиндрический индуктор т. в. ч. установленный перед рабочими валками. Конструкция индуктора и режимы нагрева подбирают таким образом, чтобы участок заготовки, поступающий в валки, при прохождении через индуктор нагревался до постоянной температуры прокатки. В результате этого обеспечивается стабильность размеров прокатываемой резьбы по всей длине винта.

Температура прокатки зависит от марки стали. Для углеродистых сталей температуры начала прокатки составляет 1050—1100° С и конца прокатки 800—850° С.

При горячей прокатке применяют технологическую смазку калибров валков, которая снижает коэффициент трения при прокатке, значительно облегчает течение металла и формование профиля резьбы.

В качестве технологической смазки сначала применяли коллоидально-графитовый препарат масляный МС (ГОСТ 5262-50).

Этот препарат имеет ряд недостатков: горит с выделением большого количества дыма; вследствие высокой температуры разжижается и стекает с поверхности валков, в результате чего его смазочное действие совершенно недостаточно.

В дальнейшем начали применять технологическую смазку следующего состава: 2 вес. ч. графита марки С, 1 вес. ч. кальцинированной соды, остальное — вода.

Смазку разводят водой до тестообразного состояния. Графито-содовая смазка *не горит и не выделяет дыма*. Вследствие высокой вязкости она хорошо удерживается на поверхности калибров валка.

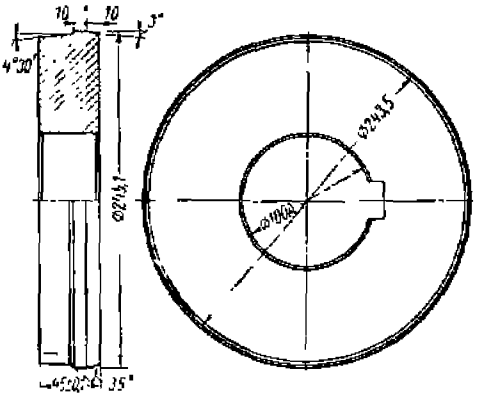


Рис. 32. Чертеж гладких валков для калибровки заготовки при горячей прокатке скрученной резьбы 44×8

При применении графито-содовой смазки наряду с более высоким смазывающим эффектом повышается температура конца прокатки. По-видимому, это связано с лучшими теплоизолирующими свойствами графито-содовой смазки. С применением графито-содовой смазки значительно облегчается процесс прокатки: уменьшается усилие прокатки и улучшается заполнение металлом калибров валка. Заготовки, прокатанные с технологической смазкой, имеют более чистую поверхность профиля и не имеют поверхностных дефектов.

Шероховатость поверхности прокатанной резьбы в горячем состоянии соответствует 6—7-му классу чистоты.

В зависимости от предъявленных технологических требований к изделиям процесс горячей прокатки применяется как окончательная операция получения профиля либо в качестве предварительной черновой операции.

При горячей прокатке некоторых изделий с вниитовой поверхностью процесс прокатки резьбы можно совмещать с процессом калибровки исходной заготовки с одного нагрева. В этих случаях перед профильными валками устанавливаются гладкие валки (рис. 32). Они состоят из конического участка, которым осуществляется захват заготовки и плавное обжатие ее по диаметру, и цилиндрического участка, которым осуществляется калибровка заготовки. Угол и длина заборного конуса конической части валков выбираются оптимальными, обеспечивающими хороший захват заготовки. Диаметр цилиндрического участка валков определяется следующим образом.

Межцентровое расстояние профильных валков в процессе прокатки

$$A = D_к + d_{вн},$$

где $D_к$ — наружный диаметр профильных валков в *мм*;

$d_{вн}$ — внутренний диаметр прокатываемой резьбы в *мм*.

Так как гладкие валки имеют то же самое межцентровое расстояние, что и профильные, то диаметр цилиндрического участка их

$$D = A - d_{з.к},$$

где $d_{з.к}$ — диаметр калиброванной заготовки, необходимый для получения заданных размеров профиля резьбы, в *мм*.

Длина цилиндрического участка валков должна быть минимальной, но не менее величины осевого перемещения заготовки 1,5—2 оборота. Осевое перемещение заготовки за один оборот определяется по формуле

$$S = \pi d_{з.к} \sin \alpha,$$

где α — угол разворота осей валков в *град*.

Совмещение калибровки заготовки с прокаткой на ней профиля резьбы возможно только при небольших обжатиях гладкими валками по диаметру заготовки.

Введение дополнительной операции обжима прутка перед валками с винтовыми калибрами коренным образом изменяет характер деформации металла в валках.

Обжатие прутка по диаметру путем поперечной прокатки может, как известно, при определенных условиях вызвать разрыхление металла по оси заготовки, что, в свою очередь, приведет к образованию пустот внутри прокатываемых винтов.

При совмещении обжатия и калибровки прутка обжимными валками с прокаткой винтов со скругленной резьбой 44×8 предельное абсолютное обжатие, при котором не вскрывается полость, составляет 43 — 39,8 = 3,2 *мм*, или

$$\sum = \frac{3{,}2}{42} 100 = 7\%.$$

Развалка калибров на заборном конусе валков и нагрев заготовки т. в. ч. уменьшает возможность появления рыхлости и вскрытия полости в центральной зоне заготовки.

Совмещение процесса прокатки резьбы с процессом калибровки заготовки является экономически выгодным, так как в этом случае не требуется проточки заготовки по наружному диаметру и изготовления конуса на ней для задачи ее в валки. Этот процесс следует применять при прокатке крупных резьб, не требующих повышенной точности (винты шахтной крепи, винты домкратов и др.).

2. ПРОКАТКА КРУПНОЙ РЕЗЬБЫ НА ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЯХ

В машиностроении применяется большое количество полых деталей с наружной резьбой. К таким деталям относятся некоторые винты шахтной металлической крепи, винты домкратов, винты качения и др. Наличие внутреннего отверстия у деталей осложняет процесс прокатки резьбы.

Процесс поперечновинтовой прокатки гладкими валками полой заготовки был изучен В. С. Смирновым [13], [14]. Им был исследован характер изменения внутреннего осевого отверстия заготовки в зависимости от ее геометрических соотношений и технологических параметров процесса прокатки. В результате этих исследований было установлено отношение внутреннего диаметра заготовки к наружному диаметру, при котором внутренний диаметр заготовки в процессе прокатки остается постоянным. Однако эти результаты не могут быть полностью отнесены к процессу *поперечновинтовой* прокатки в кольцевых или винтовых калибрах.

Прокатка в кольцевых или винтовых калибрах изделий с винтовой поверхностью сопровождается значительным течением металла в радиальном направлении, что несколько меняет схему напряженного состояния в очаге деформации. Поэтому было целесообразно экспериментальным путем установить характер изменения осевого отверстия в заготовке при поперечновинтовой прокатке полых изделий с винтовой поверхностью и найти соотношения внутреннего и наружного диаметра заготовки, при которых возможно получение качественного профиля.

Таблица 8

Размеры полых заготовок и валков в *мм* при прокатке круглой резьбы

Прокатываемая резьба		Диаметр заготовки в *мм*		Размеры валков в *мм*	
		Наружный	Внутренний $d_в$	Наружный диаметр $D_н$	Ширина B
Круглая	136×32	122,0	30—84	210	113
»	130×32	114,5	30—82	210	113
»	102×24	94,0	20—73	222	90

Исследование влияния изменения величины диаметра отверстия заготовки на качество прокатываемой круглой резьбы 136 × 32, 130 × 32 и 102 × 24 было проведено экспериментальным путем на двухвалковом стане ЦКБММ-3 [11]. Исследовали полые заготовки, изготовленные из горячекатаной стали Ст. 3, с постоянным наружным диаметром и различным внутренним диаметром (*табл. 8*).

Заготовки прокатывали в горячем состоянии без развалки винтовых калибров на заборном конусе валков при окружной их

скорости 15 *м/мин*. Заготовки для прокатки нагревали в камерной электропечи сопротивления с селитовыми стержнями.

Опытами по прокатке полых заготовок без оправки установлено, что наружный диаметр прокатанной резьбы, диаметр внутреннего отверстия и осевая вытяжка заготовки зависят от условий прокатки и отношения внутреннего и наружного диаметра заготовки до прокатки.

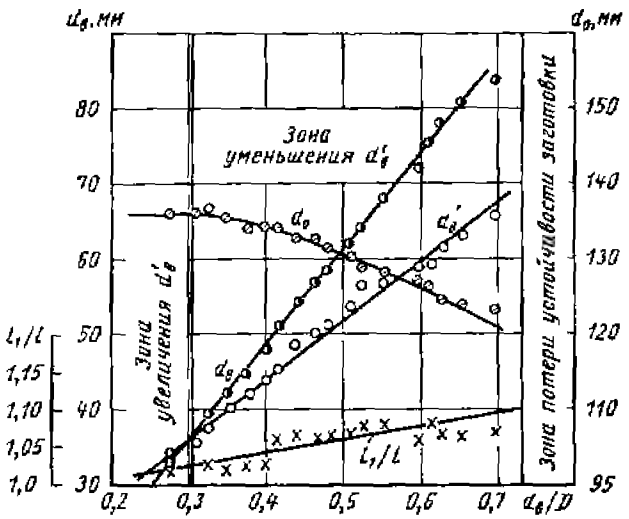


Рис. 33. Относительное изменение внутреннего диаметра, осевой вытяжки заготовки и наружного диаметра круглой резьбы 136×32 от отношения $\frac{d_в}{D}$; $D = 122$ *мм*; температура прокатки 1000° С

На рис. 33, 34 приведены графики изменения указанных величин в зависимости от отношения $\frac{d_в}{D}$ для круглой резьбы 136 × × 32 и 102 × 24. Изменения отношения $\frac{d_в}{D}$ достигали путем изменения величины $d_в$ при постоянном D.

Прямая $d_в$ выражает характер изменения внутреннего диаметра у исходных заготовок, а прямая $d'_в$ — у прокатанных. Как видно из графика, диаметры отверстия у исходных и прокатанных заготовок равны только в точке пересечения этих прямых. При этом величина $\frac{d_в}{D}$ называется критическим отношением $q_{кр}$.

При температуре прокатки 1000° С для круглой резьбы 102 × × 24, прокатанной валками с заборным конусом $\varphi = 12°$, критическое отношение $q_{кр} = 0{,}39$ и для круглой резьбы 136 × 32,

прокатанной валками с $\varphi = 22°$, критическое отношение $q_{кр} = 0{,}31$.

При отношениях $\frac{d_в}{D} < q_{кр}$ (толстостенные заготовки) происходит увеличение диаметра отверстия заготовки. При отношениях $\frac{d_в}{D} > q_{кр}$ (тонкостенные заготовки), наоборот, внутреннее отверстие уменьшается.

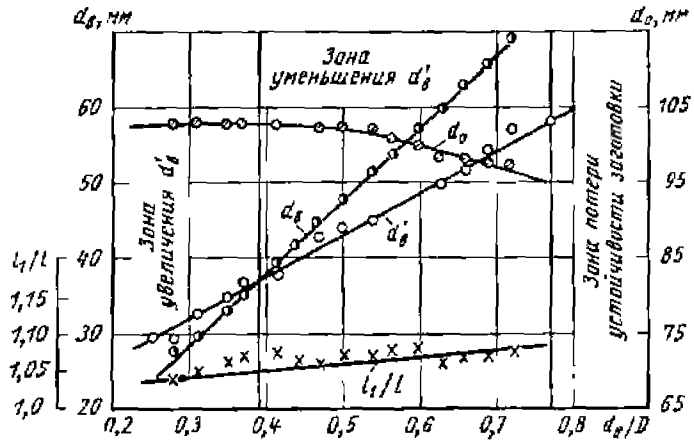


Рис. 34. Относительное изменение внутреннего диаметра, осевой вытяжки заготовки и наружного диаметра круглой резьбы 102×24 от отношения $\frac{d_в}{D}$; $D = 94$ *мм*; $\varphi = 12°$; температура прокатки 1000° С

Уменьшение внутреннего отверстия происходит из-за прогиба стенки заготовки во впадине прокатанной резьбы (рис. 35).

При отношениях $\frac{d_в}{D} > 0{,}7 \div 0{,}8$ заготовки с очень тонкими стенками при прокатке теряют устойчивость и сминаются в тело, напоминающее по форме трехгранную полую призму (рис. 36).

При $\frac{d_в}{D} < q_{кр}$ величина наружного диаметра прокатанной резьбы не меняется. В этом случае обеспечивается получение заданной резьбы с окончательно выполненным профилем. При $\frac{d_в}{D} > q_{кр}$ наружный диаметр прокатанной резьбы уменьшается с увеличением отношения $\frac{d_в}{D}$.

Вследствие прогиба стенки заготовки прокатанная резьба не имеет полной высоты профиля (рис. 35). С увеличением отношения $\frac{d_в}{D}$ осевая вытяжка заготовки увеличивается.

Величина критического отношения $q_{кр}$ для каждой резьбы различна. Она зависит от температуры прокатки, геометрии и шага прокатанной резьбы, радиальных единичных обжатий, ширины

Рис. 35. Продольный разрез заторможенной заготовки с прогибом стенки при горячей прокатке круглой резьбы 126×32

валков, развалки винтовых калибров на заборном конусе валков, технологической смазки и других факторов. С повышением температуры прокатки $q_{кр}$ уменьшается (рис. 37).

Рис. 36. Поперечный разрез смятой заготовки при горячей прокатке круглой резьбы 126×32

На величину $q_{кр}$ при прокатке оказывает влияние угол заборного конуса валков φ. С уменьшением угла заборного конуса валков уменьшается единичное радиальное обжатие заготовки.

С уменьшением радиальных единичных обжатий заготовки $q_{кр}$ увеличивается (рис. 38).

С применением технологической смазки валков (коллоидально-графитовый препарат масляный «МС» по ГОСТу 5262—50) во время прокатки увеличивается $q_{кр}$ (рис. 39).

На величину $q_{кр}$ существенное влияние оказывает также наружный диаметр прокатываемой резьбы. С увеличением наруж-

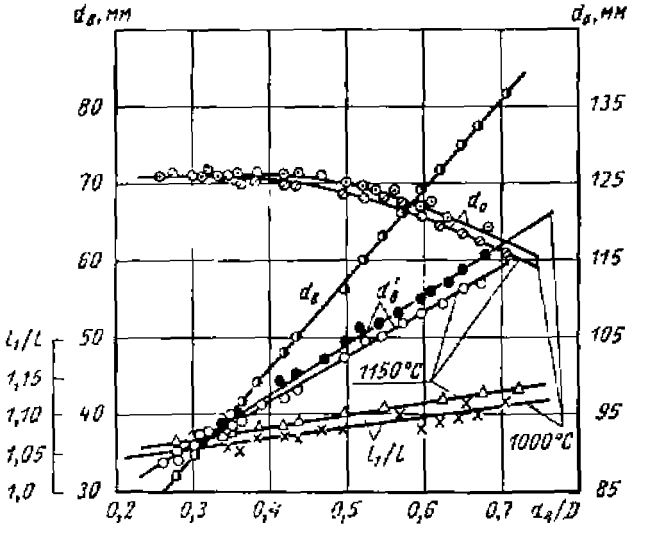


Рис. 37. Относительное изменение внутреннего диаметра и осевой вытяжки заготовки и наружного диаметра круглой резьбы 126×32 от отношения $\frac{d_в}{D}$ и температуры прокатки; $D = 114.5$ *мм*; $\varphi = 22°$

ного диаметра резьбы при остальных постоянных параметрах $q_{кр}$ уменьшается (рис. 40).

На рис. 41 приведен макрошлиф полукруглой резьбы 100 × 20, прокатанной на полой заготовке без оправки в горячем состоянии.

При прокатке полукруглого профиля резьбы винта качения 45 × 8,4 исследованию подвергались полые заготовки, изготовленные из горячекатаной стали Ст. 3, с постоянным наружным диаметром 42 *мм* и различным внутренним диаметром от 0 до 34 *мм*. Изменение внутреннего диаметра производилось через каждые 2 *мм*.

Чтобы выяснить влияние двусторонней, симметричной развалки винтовых калибров на заборном конусе валков на качество прокатываемой резьбы, прокатку полых заготовок производили при температуре 1100° С тремя комплектами валков (см. рис. 21). Опытами по прокатке полых заготовок без оправки было установ-

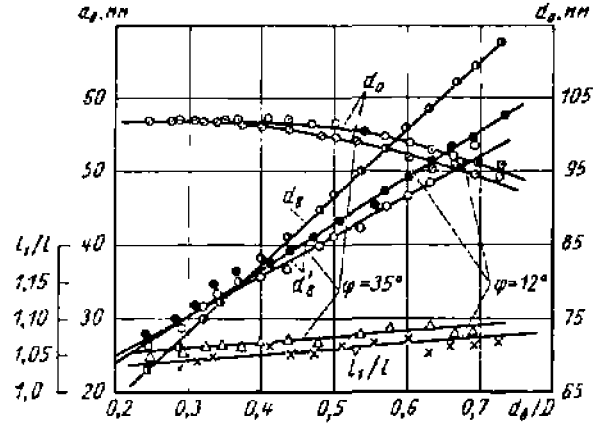


Рис. 38. Относительное изменение внутреннего диаметра, осевой вытяжки заготовки и наружного диаметра круглой резьбы 102×24 от отношения $\frac{d_в}{D}$; $D = 94$ *мм*; температура прокатки 1000° С

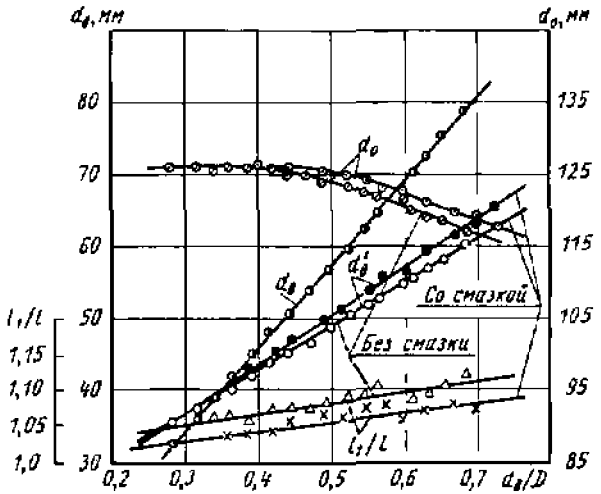


Рис. 39. Относительное изменение внутреннего диаметра, осевой вытяжки заготовки и наружного диаметра круглой резьбы 126×32 от отношения $\frac{d_в}{D}$ и технологической смазки валков; $D = 94$ *мм*, $\varphi = 22°$ температура прокатки 1000° С

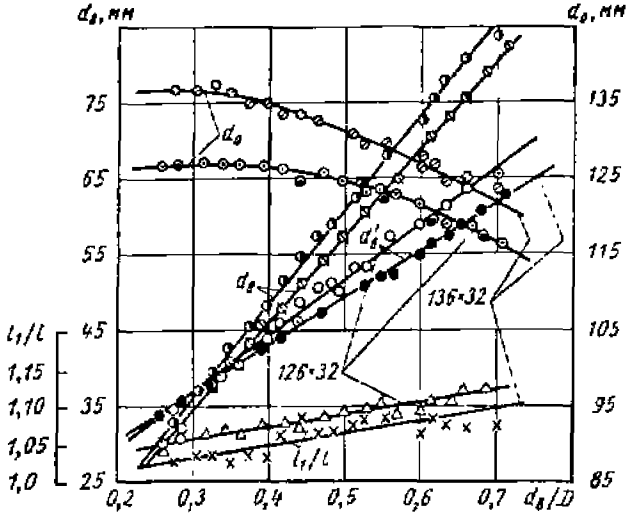


Рис. 40. Относительное изменение внутреннего диаметра, осевой вытяжки заготовки и наружного диаметра круглой резьбы 126×32 и 136×32 от отношения $\frac{d_в}{D}$, $\varphi = 22°$, $D =$ $= 114{,}5$ *мм* и $D = 122$ *мм*; температура прокатки 1000° С

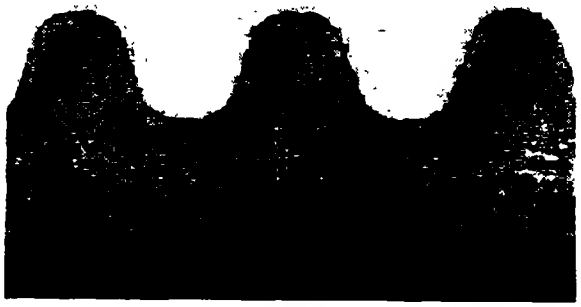


Рис. 41. Макрошлиф полукруглой резьбы 100×20, прокатанной на полой заготовке без оправки в горячем состоянии

лено, что наружный диаметр прокатанной резьбы, диаметр внутреннего отверстия и осевая вытяжка заготовки зависят не только от отношения $\frac{d_в}{D}$ до прокатки, но и от наличия и размеров двусторонней симметричной развалки винтовых калибров на заборном конусе валков.

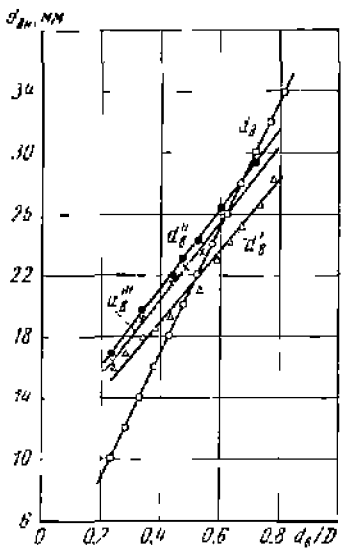


Рис. 42. Относительное изменение внутреннего диаметра заготовки от отношения $\frac{d_в}{D}$ и развалки винтовых калибров на заборном конусе валков при прокатке полукруглого профиля резьбы 45×8,4 винта качения

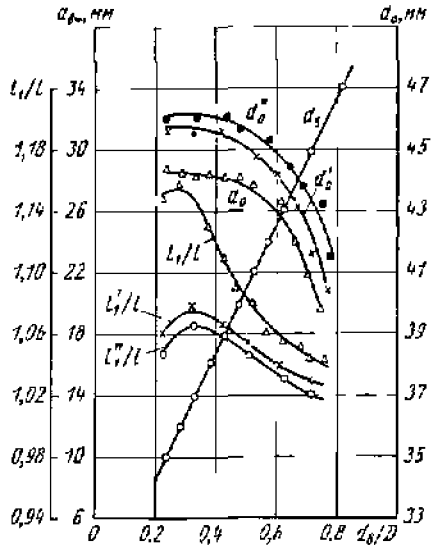


Рис. 43. Относительное изменение наружного диаметра полукруглого профиля резьбы 45×8,4 винта качения и осевой вытяжки заготовки от отношения $\frac{d_в}{D}$ и развалки винтовых калибров на заборном конусе валков

На рис. 42 приведены графики изменения указанных величин в зависимости от отношения $\frac{d_в}{D}$ и двусторонней симметричной развалки винтовых калибров на заборном конусе валков.

Прямая $d_в$ выражает характер изменения внутреннего диаметра у исходных заготовок, а кривые $d'_в$, $d''_в$ и $d'''_в$ — у прокатанных тремя комплектами валков (см. рис. 21) с различной развалкой винтовых калибров на заборном конусе.

При прокатке полукруглого профиля резьбы винтов качения 45 × 8,4 валками (рис. 21) без развалки винтовых калибров на заборном конусе критическое отношение $q_{кр} = 0{,}48$. Для того же профиля резьбы винтов качения, прокатанного валками (рис. 21)

с двусторонней симметричной развалкой винтовых калибров на заборном конусе, с $\Delta t = \pm 0{,}18$ *мм* $q_{кр} = 0{,}62$ и с $\Delta t = \pm 0{,}30$ *мм* $q_{кр} = 0{,}68$.

Таким образом, с применением развалки винтовых калибров на заборном конусе валков $q_{кр}$ увеличивается.

На рис. 43 видно, что интенсивность подъема профиля резьбы значительно выше при прокатке валками с развалкой винтовых калибров на заборном конусе — кривые d_0' и d_0''. Кривая d_0 показывает характер изменения наружного диаметра резьбы при прокатке валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе валков.

Кривая $\frac{l_1}{l}$ (рис. 43) характеризует изменение осевой вытяжки при прокатке валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе, а кривые $\frac{l_1'}{l}$ и $\frac{l_1''}{l}$ — изменение осевой вытяжки при прокатке валками с развалкой винтовых калибров на заборном конусе.

Интенсивность осевой вытяжки прокатанных заготовок уменьшается с увеличением величины развалки винтовых калибров на заборном конусе валков. Опытами по прокатке полых заготовок на оправке установлено, что при прокатке толстостенных заготовок в связи с увеличением внутреннего диаметра заготовки между оправкой и заготовкой образуется зазор и оправка практически не оказывает влияния на процесс деформации. При прокатке тонкостенных заготовок оправка предотвращает прогиб стенки и способствует заполнению профиля резьбы по наружному диаметру. В этом случае наблюдается более интенсивная осевая вытяжка.

3. ПРОКАТКА ВИНТОВЫХ ШТАНГ

Изготовление винтовых штанг (рис. 44) штанго-винтовой крепи способом резания является весьма трудоемким процессом, сопровождающимся большим отходом металла в стружку и большим расходом режущего инструмента.

Во ВНИИМетмаше разработан новый высокопроизводительный технологический процесс изготовления винтовых штанг способом поперечновинтовой прокатки [1]. Сложность прокатки винтовых штанг заключается в необходимости получения острых вершин профиля, большого шага и большого угла подъема винтового профиля на малом диаметре.

Исследованиями было установлено, что получить профиль винтовой штанги на двухвалковых станах практически невозможно.

[1] М. М. Волков, Ф. П. Кирпичников, М. В. Васильчиков, П. Г. Клинков, Р. М. Анисимова и Л. П. Алехин. Авторское свидетельство № 168257, 1964.

При холодной прокатке не формуются острые вершины профиля, а при горячей прокатке они раскатываются на поддерживающих проводках. При этом происходит интенсивная осевая вытяжка заготовки (40—45%).

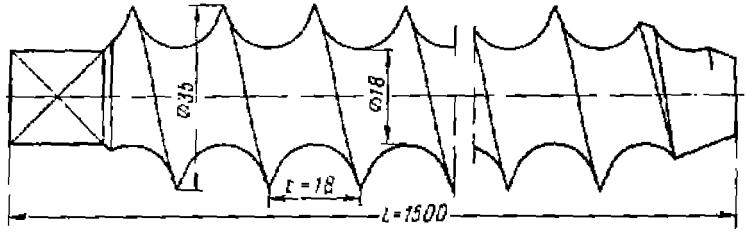


Рис. 44. Чертеж винтовой штанги

Осуществить процесс прокатки винтовых штанг удалось только на трехвалковом стане в горячем состоянии. Прокатку их производили валками (рис. 45) с двусторонней симметричной развалкой

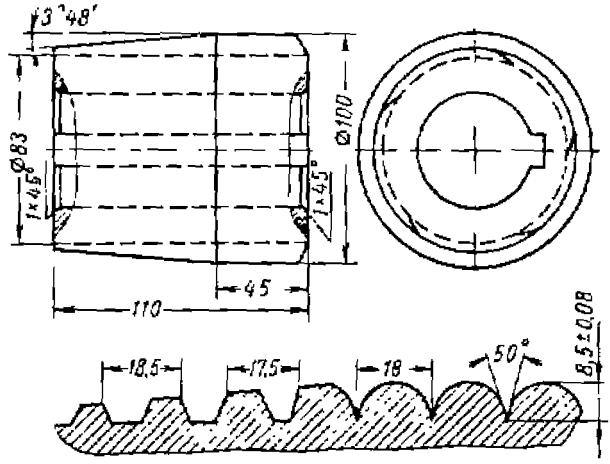


Рис. 45 Валки для горячей прокатки винтовой штанги. Нарезка винтовых калибров — левая пятизаходная

винтовых калибров на заборном конусе, которая обеспечивала формование острых вершин профиля и уменьшала осевую вытяжку до 20—25%.

Винтовые штанги прокатывали при скорости вращения валков 120—130 *об/мин* с радиальным единичным обжатием $\Delta r = 0{,}16$ *мм*. Охлаждали валки водой. При прокатке без охлаждения валков или недостаточном охлаждении их происходит налипание частиц ме-

талла на дне калибров валков, которое оставляет след на поверхности прокатанного профиля.

В качестве заготовок для прокатки применяли круг диаметром 27 *мм* из горячекатаной стали Ст. 3 без предварительной механической обработки по диаметру. Заготовки нагревали токами высокой частоты в кольцевом индукторе, установленном перед валками. Температура нагрева заготовок перед прокаткой составляла 1100—1150° С и в конце прокатки 800—850° С. Скорость нагрева проходящей через индуктор заготовки совмещена с ее осевой скоростью прокатки. В процессе прокатки заготовок происходит подстывание острых вершин формуемого профиля калибрами валков. При выходе заготовки из валков температура ее быстро выравнивается.

Рис. 16. Прокатанный профиль винтовой штанги

Чтобы предохранить острые кромки профиля на выходящей из валков заготовке от повреждения в направляющей выходной проводке, применяли охлаждение заготовки водой из кольцевого спреера.

При прокатке валками с развалкой винтовых калибров вскрытие полости или появление рыхлости в центральной зоне прокатанных штанг не наблюдается (рис. 46).

Для осуществления процесса прокатки винтовых штанг в промышленных условиях ВНИИМетмаш спроектировал и изготовил трехвалковый стан, который установлен на одном из заводов угольного машиностроения и находится в стадии промышленного освоения.

4. ПРОКАТКА ЗАГОТОВОК ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Червячная фреза является одним из наиболее распространенных инструментов для изготовления зубчатых колес.

Червячная фреза представляет собой червяк с профилем резьбы в виде приближенной зуборезной рейки, обращенной в режущий инструмент путем прорезания продольно-винтовых канавок и затылования зубьев.

Червячные фрезы изготовляются из быстрорежущей высоковольфрамовой стали Р18 способом резания. Химический состав стали Р18 в %: 0,70—0,80 С; 15,5—19,0 W; 3,8—4,4 Cr; 1,0—1,4 V; 0,3 Mo.

Сталь Р18 поставляют в отожженном состоянии со структурой мелкозернистого (сорбитообразного) перлита и избыточными кар-

бидами. В катаной или кованой стали не должно быть выделения эвтектики или карбидной сетки по границам зерен.

Неоднородность в распределении карбидов по шкале карбидной неоднородности быстрорежущей стали (согласно ГОСТ 5952—63) не должна превышать балл 4 для прутков диаметром до 60 *мм* и балл 5 для прутков диаметром от 60 до 80 *мм*.

Червячные фрезы до модуля 4 *мм* изготовляются из проката, а модулем свыше 4 *мм* — из кованых заготовок. Для получения более однородной структуры металла и лучшего распределения карбидов проводится многократная проковка заготовок.

Червячные фрезы принадлежат к числу инструментов, в производстве которых коэффициент использования металла очень низок; вес готовой фрезы составляет не более 30% от веса заготовки. Операция образования профиля червяка фрезы является наиболее трудоемкой; на заводе «Фрезер» операция фрезерования профиля червяка на фрезе с модулем 5 *мм* составляет около 17% общей трудоемкости изготовления фрезы.

В настоящее время червячные фрезы изготовляются цельными до модуля 12 *мм*. Цельные фрезы значительно проще в изготовлении и долговечнее в эксплуатации. Однако изготовление цельных червячных фрез, начиная с модуля 5 *мм* и выше, осложняется необходимостью применения специальных поковок из быстрорежущей высоковольфрамовой стали Р18, так как в виде проката сталь Р18 обычно поступает до диаметра 100 *мм*. Иногда ввиду длительности цикла производства и высокой стоимости заготовок вынуждены изготовлять сборные червячные фрезы, которые обеспечивают более высокую стойкость за счет лучшей проковки вставных быстрорежущих гребенок, но вместе с тем имеют серьезные недостатки. Основным недостатком сборных червячных фрез следует признать сложность и трудоемкость их изготовления, приводящую к высокой стоимости, несмотря на меньший расход быстрорежущей стали. Кроме того, сборные червячные фрезы имеют меньший срок эксплуатации, так как вставные быстрорежущие гребенки имеют меньшую толщину, чем зубья червячной фрезы, и, следовательно, выдерживают меньшее число переточек.

Во ВНИИМетмаше разработан новый высокопроизводительный и экономичный технологический процесс изготовления заготовок червячных фрез способом поперечновинтовой прокатки [1] [12], [15].

Прокатка заготовок червячных фрез производится в горячем состоянии по трехвалковой схеме (см. рис. 4).

Заготовки для прокатки представляют собой штанги длиной 700—800 *мм*, предварительно обточенные для снятия обезуглероженного слоя. Они должны иметь строго цилиндрическую форму.

---

[1] М. М. Волков, М. В. Васильчиков, Б. А. Майлер. Авторское свидетельство № 122008, 1959.

При прокатке заготовок червячных фрез необходимо учитывать следующие особенности быстрорежущей стали Р18: 1) она имеет пониженную пластичность и высокое сопротивление пластической деформации; 2) имеет меньшую теплопроводность, чем заэвтектоидные стали; это требует медленного и осторожного нагрева до 750—850° С; необходимо обеспечить нагрев металла на глубину проникновения деформации, т. е. на 2—3 модуля; 3) закаливается на воздухе, поэтому прокатанные заготовки червячных фрез должны охлаждаться медленно для предупреждения внутренних напряжений и образования трещин.

Заготовки под прокатку нагревали (см. табл. 9) в трехступенчатом нагревательном агрегате, который состоит из газовой печи и двух электронагревательных ванн. В газовой печи производится предварительный нагрев заготовок до температуры 300—400° С.

В первой соляной ванне заготовки нагревают до температуры 750—800° С, а во второй — до температуры 1150—1170° С. В каждой ступени нагревательного агрегата одновременно нагревается 2—3 заготовки диаметром до 100 *мм* и 1—2 заготовки диаметром от 100 до 140 *мм*. Нагрев заготовок производится в специальном приспособлении из жаропрочной стали, и вместе с ним кран-балкой заготовки транспортируются из одной ступени агрегата в другую и от агрегата к стану.

Температура соляных ванн контролируется автоматическими электронными потенциометрами с трехпозиционным регулятором типа ЭПД-12; в первой низкотемпературной ванне — при помощи термопары, а во второй высокотемпературной ванне — при помощи радиационного автоматического пирометра.

Таблица 9

Продолжительность нагрева заготовок в агрегате при рабочей температуре

Диаметр заготовок в *мм*	Продолжительность нагрева в *мин*		
	в газовой печи	в первой соляной ванне	во второй соляной ванне
60—70	10	10	10
71—80	12	12	12
81—90	14	14	14
91—100	15	15	15
101—115	18	18	18
116—130	20	20	20
131—150	25	25	25

В первой электронагревательной соляной ванне находится в расплавленном состоянии соль, состоящая из 75% хлористого бария ($BaCl_2$) и 25% хлористого натрия (NaCl), во второй — 100% хлористобариевой соли ($BaCl_2$).

При правильном раскислении электронагревательных ванн обезуглероживания заготовок не происходит.

Нагрев штанги под прокатку должен быть равномерным по ее диаметру и длине. В случае неравномерного нагрева штанги последняя после прокатки имеет неравномерную высоту профиля, овальность наружного и внутреннего диаметров.

Известно, что чем ниже температура окончания горячей обработки давлением, тем больше воздействие пластической деформации на структуру быстрорежущей стали и тем значительнее раздробление карбидов; менее пластичный металл лучше передает деформацию в нижележащие слои. Однако этот способ раздробления карбидов при горячей прокатке заготовок червячных фрез следует применять до температуры конца прокатки не ниже 850—900° С.

При снижении температуры конца прокатки до 700—750° С резко уменьшается пластичность стали Р18. В связи с этим при прокатке требуется более мощное оборудование, резко снижается стойкость валков и увеличивается расход электроэнергии при прокатке. Наиболее благоприятной температурой конца прокатки является 900—970° С.

Прокатка заготовок производится без обжатия наружного диаметра червячного профиля фрезы с радиальным единичным обжатием 0,2—0,5 *мм* при окружной скорости валков 50 *м/мин*.

При прокатке заготовок червячных фрез с модулем 1—3 *мм* наблюдается подстывание вершины формуемого профиля в калибрах валков. При выходе из валков температура заготовки быстро выравнивается.

Прокатанные заготовки целесообразно охлаждать в специально футерованном термоизоляционным материалом ящике-термостате.

При чрезмерно быстром и неравномерном охлаждении прокатанных заготовок на них иногда образуются продольные трещины.

При прокатке заготовок без технологической смазки, нагретых в соляной ванне, происходит постепенное налипание соли ко дну калибров валков, в результате чего на прокатанных заготовках на вершине сформованного профиля появляются вмятины.

Прокатанные заготовки после охлаждения имеют высокую твердость и поэтому для возможности дальнейшей механической обработки их подвергают отжигу в газовых шахтных печах по режиму для быстрорежущей стали Р18.

Отличительной особенностью валков для прокатки заготовок червячных фрез с модулем свыше 4 *мм* является геометрия заборной части валков, обеспечивающая улучшение условий захвата заготовки валками и дополнительное осевое обжатие металла. Каждый валок (рис. 47) имеет однозаходные винтовые калибры, которые благодаря двусторонней симметричной развалки их на заборной части обеспечивают непрерывное осевое обжатие заклю-

ченного в них металла заготовки с образованием заданного червячного профиля фрезы. Дополнительное осевое обжатие улучшает структуру металла по профилю фрезы на прокатанной заготовке.

Основные размеры валков для прокатки заготовок червячных фрез приведены в табл. 10.

Для получения симметричного угла профиля на прокатанной заготовке корректируется правый угол калибра валков в сторону его увеличения (см. табл. 10).

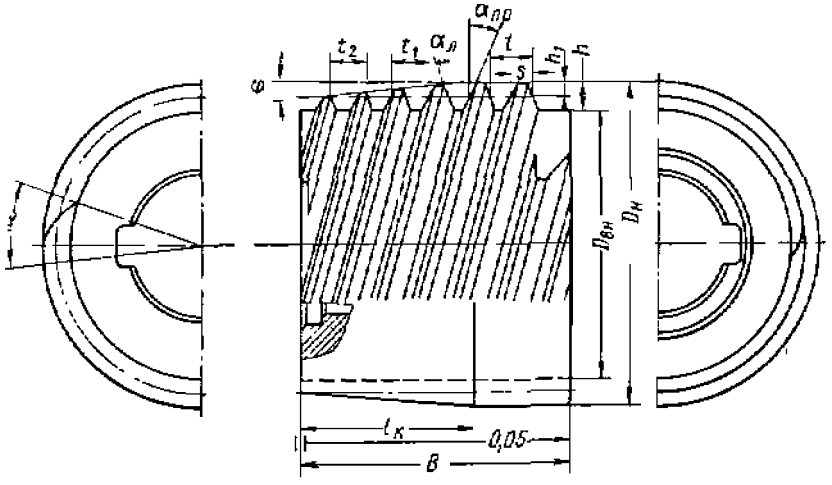


Рис. 47. Валки для прокатки заготовок червячных фрез

Прокатанные заготовки червячных фрез представляют собой сплошные штанги, имеющие на наружной поверхности червячный профиль фрезы (рис. 48). После отжига их разрезают на заготовки мерной длины.

Прокатанные заготовки червячных фрез без обжатия наружного диаметра имеют колебания наружного диаметра 0,5—0,8 *мм*, внутреннего диаметра 0,3—0,5 *мм* и толщины зуба 0,1—0,2 *мм*. Накопленная ошибка по шагу не превышает 0,1—0,2 *мм* на 3 шага. Меньшие величины колебания соответствуют меньшим модулям червячных фрез, а бóльшие — бóльшим модулям червячных фрез. За базу замеров принимался внутренний диаметр профиля. Каждую заготовку измеряли в 20 сечениях через 90°.

Шероховатость поверхности прокатанного профиля на заготовках червячных фрез валками со шлифованными калибрами соответствует 6—7-му классу чистоты [15].

Качество заготовок червячных фрез, прокатанных при разных режимах, определяли с помощью макро- и микрошлифов, на которых было видно, что волокна металла не перерезаются, а ориентированы по профилю резьбы фрезы и сильно уплотнены

Таблица 10

Основные размеры однозаходных валков в *мм* для прокатки заготовок червячных однозаходных фрез на трехвалковом стане

Модуль фрезы	Наружный диаметр $D_н$ +0,15	Внутренний диаметр $D_{вн}$ +0,15	Ширина B ± 10	Длина заборного конуса $l_к$	Угол заборного конуса φ ± 10′	Высота профиля h +0,3	Половина высоты профиля h_1	Левый угол профиля $\alpha_л$ ± 10′	Правый угол профиля $\alpha_{пр}$ ± 10	Шаг профиля t ± 0,08	Шаги развала винтовых калибров на заборном конусе		Толщина зуба по среднему диаметру s −0,05
											t_1	t_2	
5,0	300	275,0	120	82	4°40′	12,5	6,25	20°	21°	15,98	15,52	16,44	7,38
5,5	300	272,5	135	90	4°38′	13,75	6,87	20°	21°	17,61	17,09	18,13	8,16
6	300	270,0	140	93	4°51′	15,0	7,5	20°	21°	19,21	18,63	19,79	9,02
6,5	300	267,5	150	99	4°52′	16,25	8,12	20°	21°	20,81	20,20	21,48	9,81
7	300	265,0	160	105	4°55′	17,5	8,75	20°	21°	22,17	21,77	23,17	10,61
8	300	260,0	175	115	5°10′	20,0	10,0	20°	21°30′	25,74	24,90	26,58	12,11
9	300	255,0	185	120	5°30′	22,5	11,25	20°	21°30′	29,06	28,03	30,09	13,65
10	300	250,0	192	130	5°40′	25,0	12,5	20°	21°30′	32,35	31,17	33,53	15,17

во впадине и боковой поверхности зуба. При соблюдении рекомендуемых режимов нагрева штанг под прокатку и отжига их после прокатки обезуглероживания металла не происходит.

При сравнении микроструктуры заготовок из стали Р18 прокатанных червячных фрез с модулем 5 *мм* установлено, что микроструктура исходного металла состоит из зернистого перлита с неравномерно распределенными включениями карбидов (рис. 49, *а*). Микроструктура прокатанного профиля отличается более мелкими и раздробленными включениями карбидов, располагающимися на фоне основного зернистого перлита (рис. 49, *б*). Карбидная неоднородность быстрорежущей стали (ГОСТ 5952—63) по сечению зуба фрезы у прокатанных заготовок различна. На заготовках червячных фрез с модулем 1—2 *мм* структура металла улучшается по всему сечению зуба фрезы, а на заготовках червячных фрез более крупного модуля — только по контуру зуба фрезы на определенную глубину.

На середине высоты зуба по нормали к его боковой поверхности у прокатанной заготовки червячной фрезы с модулем 8 *мм* карбидная неоднородность на расстоянии 0,5 *мм* соответствует баллу 2 (рис. 50, *а*), на расстоянии 1,6 *мм* — баллу 6 (рис. 50, *б*), на расстоянии 2,7 *мм* — баллу 7 (рис. 50, *в*) и на расстоянии 3,7 *мм* — баллу 9 (рис. 50, *г*).

По вертикали от вершины зуба к его основанию карбидная неоднородность на расстоянии до 1,5 *мм* соответствует баллу 6 (рис. 51, *а*), а на расстоянии 1,7 *мм* — баллу 9 (рис. 51, *б*).

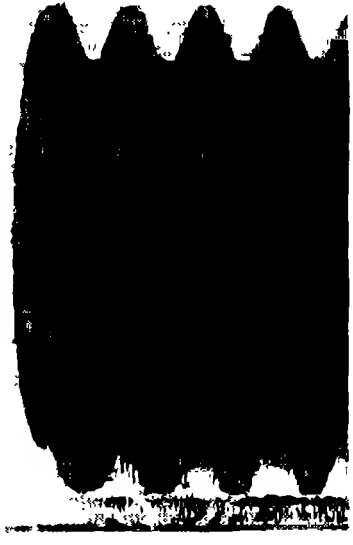


Рис 48. Прокатанная заготовка червячной фрезы с модулем 6 мм

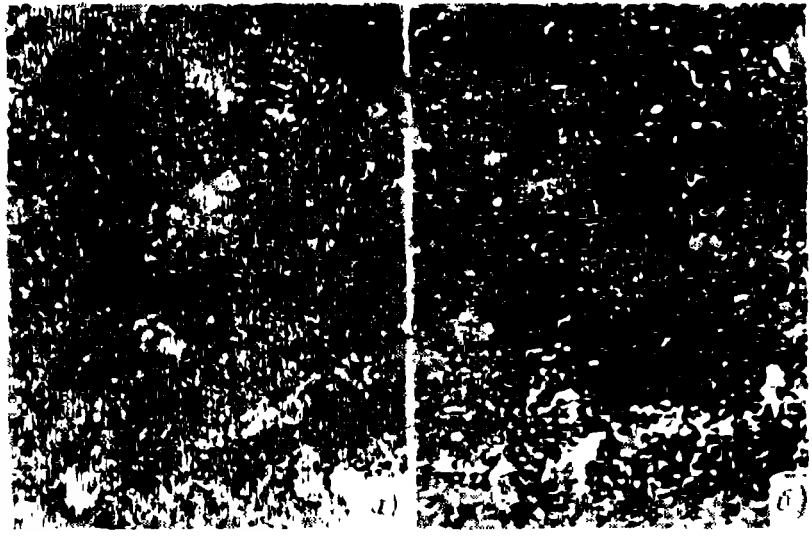


Рис. 49. Микроструктура быстрорежущей стали Р18. ×500:
а — исходной заготовки; *б* — прокатанного профиля червячной фрезы с модулем 5 мм

На исходной заготовке карбидная неоднородность соответствовала баллу 9 (рис. 52).

Из приведенных данных видно, что прокатка обеспечивает получение более низкого балла карбидной неоднородности по всему контуру профиля зуба фрезы.

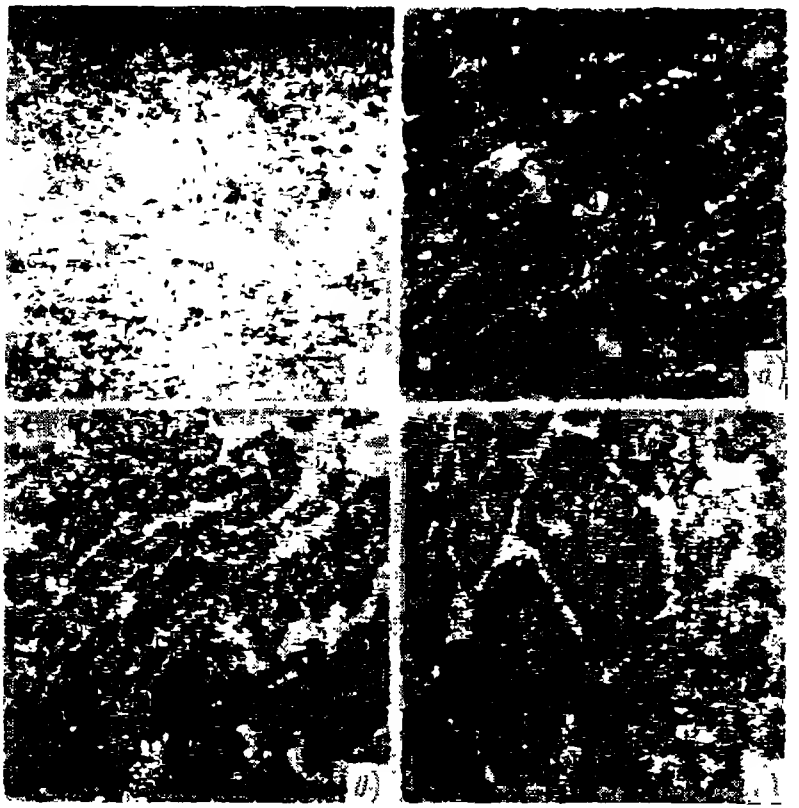


Рис. 50. Распределение карбидной неоднородности в сечении на середине высоты зуба по нормали к его боковой поверхности у прокатанной заготовки червячной фрезы с модулем 8 *мм*. × 115

Катаная сталь с мелкими и равномерно распределенными карбидами имеет более высокую красностойкость, чем сталь с менее однородно распределенными и более крупными карбидами. Механические свойства ее заметно возрастают. В связи с этим можно считать, что износостойкость червячных фрез, изготовленных из прокатанных заготовок, значительно улучшится по сравнению с фрезами, изготовленными способом фрезерования.

Проведенные Всесоюзным научно-исследовательским институтом инструментальной промышленности (ВНИИ) стойкостные

сравнительные испытания червячных фрез с модулем 5 *мм* и французской фирмой «Таллавинь Делаш» червячных фрез с модулем 4 *мм*, изготовленных из прокатанных и фрезерованных заго-

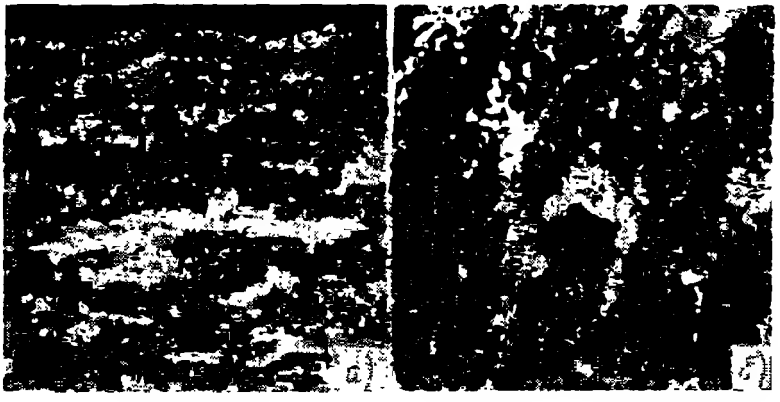


Рис. 51. Распределение карбидной неоднородности в сечении по вертикали от вершины зуба к его основанию у прокатанной заготовки червячной фрезы с модулем 8 *мм*. ×115

товок, показали, что стойкость червячных фрез, изготовленных из прокатанных заготовок, выше фрезерованных на 10—12%.

Однако при внедрении этого процесса в промышленность обнаружились трудности, заключающиеся в том, что поставляемые металлургическими заводами кованые штанги, длина которых достигает 750—2000 *мм*, из быстрорежущей стали Р18 имеют кривизну 5 *мм* на 1 *м* длины штанги. Предварительная механическая обработка по диаметру таких заготовок с целью удаления обезуглероженного слоя металла связана с большим удалением металла в стружку, что в значительной мере снижает эффективность процесса. Для использования этого процесса в массовом производстве на инструментальных заводах не создано металлорежущее оборудование для механической обработки прокатанных штанг (резка штанг на мерные заготовки червячных фрез и обработка их по профилю и др.).

Рис. 52. Распределение карбидной неоднородности у исходной заготовки. ×115

В настоящее время во ВНИИМетмаше опробован процесс, при котором операция прокатки червячного профиля фрез совмещена с калибровкой исходной штанги и обеспечивает получение заданных размеров и устранение кривизны исходной штанги. Полученные результаты свидетельствуют о возможности промышленного применения этого процесса.

5. ПРОКАТКА ПОЛЫХ СБОРНЫХ ШТАНГ

С целью повышения коэффициента использования металла и упрощения технологического процесса механической обработки прокатанных заготовок червячных фрез авторами были проведены эксперименты по прокатке сборных полых штанг на оправке (рис. 53, *а*).

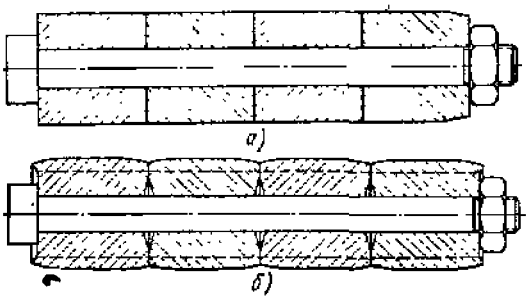


Рис. 53. Сборная полая заготовка на оправке:
а — до прокатки; *б* — после прокатки

Сборные штанги изготовляли из быстрорежущей стали Р18, а оправки к ним — из жаропрочной стали Х18Н25С2, 4Х14Н14В2М и быстрорежущей стали Р18.

Диаметр оправок сборных штанг для прокатки червячных фрез с модулем 2,5 и 4 *мм* составлял 31 *мм* и червячных фрез с модулем 5 *мм* — 38 *мм*.

Сборные штанги под прокатку нагревали в электронагревательном агрегате по режиму нагрева сплошных штанг из быстрорежущей стали Р18 (см. табл. 9).

На сборных полых штангах прокатывали профиль червячных фрез с модулем 2,5, 4 и 5 *мм*. После прокатки заготовки сборной полой штанги приняли бочкообразную форму и на концах не имели по высоте полного профиля (рис. 53, *б*). Осевая вытяжка заготовок колебалась в пределах 2—5%. На всех заготовках наблюдалась эллиптичность отверстия, которая достигала 1,5 *мм*.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что при сплошном нагреве сборных штанг под прокатку нагревается также оправка, которая не выдерживает усилий, действую-

щих на нее в процессе прокатки. Все оправки после прокатки имели осевую вытяжку в пределах 18—21% и уменьшились в диаметре на 2—3%.

При поверхностном нагреве сборных штанг т. в. ч. оправка нагревается незначительно и прочность ее при прокатке заготовок червячных фрез с модулем до 4 *мм* является достаточной для удерживания растягивающих усилий, вызванных прокаткой. При таком способе нагрева сборных полых штанг не происходит эллиптичности отверстия заготовки в процессе ее прокатки.

Такая технология весьма перспективна, так как она позволяет использовать исходный металл (шучные поковки) с лучшей структурой и не вносит изменений в существующий технологический процесс изготовления червячных фрез на инструментальных заводах.

6. ПРОКАТКА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

В целях дальнейшего повышения коэффициента использования металла во ВНИИМетмаше была опробована прокатка червячного профиля резьбы фрезы с модулем 5 *мм* на биметаллических заготовках [16]. Прокатке подвергали цилиндрические заготовки из стали 45, наплавленные порошковой проволокой из стали Р18. Наплавку производили электродуговым способом под флюсом 48-ОФ-6 на заготовках, подогретых до температуры 700°С*. Наплавленные заготовки загружали в печь и выдерживали в ней при температуре 850° С в течение 5 *ч*, а затем медленно охлаждали вместе с печью. После отжига наплавленные заготовки протачивали по наружному диаметру до диаметра 83 *мм*.

Рис. 54. Поперечный разрез заготовки с наплавленным слоем быстрорежущей стали Р18

Толщина наплавленного слоя составляла 4,1—6,5 *мм* (см. табл. 11 и рис. 54). По химическому составу наплавленный слой на заготовках соответствовал быстрорежущей стали Р18.

Заготовки для прокатки нагревали в камерной электропечи сопротивления с селитовыми стержнями. Для уменьшения образования окалины заготовки нагревали в металлических трубах. Заготовки в печь загружали при температуре 700—800° С и выдерживали в течение 20—25 *мин*. После выдержки температуру

* Наплавка заготовок производилась в институте Электросварки им. Е. О. Патона АН УССР.

в печи повышали до 1150—1170° С. Контроль температуры нагрева заготовок осуществлялся при помощи автоматического пирометра. Температура начала прокатки составляла 1100—1150° С и конца прокатки 970—1000° С.

Наплавленные заготовки прокатывали при окружной

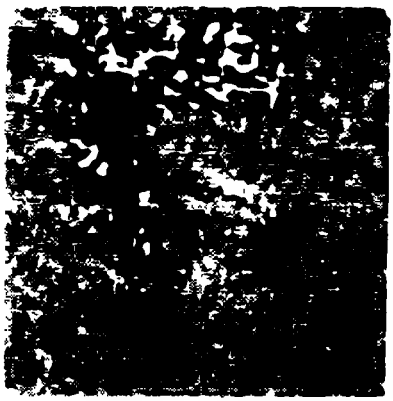


Рис. 55. Структура наплавленной быстрорежущей стали Р18. ×115

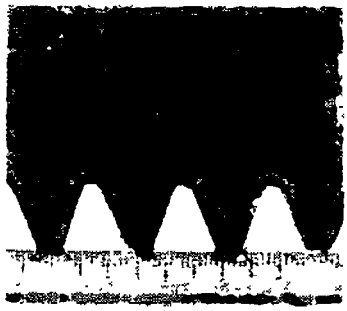


Рис. 56. Продольный разрез наплавленной заготовки после горячей прокатки профиля резьбы червячной фрезы с модулем 5 *мм*

скорости валков 28 и 56 *м/мин* с радиальным обжатием $\Delta r = 0{,}2$ *мм* и с технологической смазкой (смесь машинного масла с графитом). На заготовках прокатывали профиль червячной фрезы с модулем 5 *мм* с разной высотой (см. табл. 11).

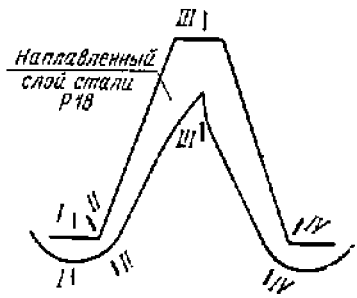


Рис. 57. Схема замеров наплавленного слоя быстрорежущей стали Р18 по сечению зуба у прокатанной червячной фрезы с модулем 5 *мм*

Прокатанные заготовки помещали в металлические трубы и охлаждали на воздухе, а затем подвергали отжигу в газовой шахтной печи по режиму, применяемому для быстрорежущей стали Р18.

Структура наплавленной стали на исходных заготовках состояла из сорбитообразного перлита, карбидов с наличием ледебуритной эвтектики (рис. 55).

Из рассмотрения микро- и макрошлифов, изготовленных из прокатанных заготовок, установлено, что в процессе прокатки отслаивание наплавленного слоя не происходит. По профилю фрезы наплавленный слой распределялся неравномерно (рис. 56). На вершине зуба наплавленный слой незначительно увеличивается по толщине, а во впадине и боковым сторонам зуба он растягивается. Результаты измерений толщины

наплавленного слоя по сечениям (рис. 57) прокатанного профиля фрезы приведены в табл. 11.

Таблица 11

Толщина наплавленного слоя в мм стали Р18 по сечению червячного профиля фрезы, прокатанного с разной высотой

На исходной заготовке	На прокатанной заготовке				Наружный диаметр прокатанной заготовки в мм	Высота прокатанного профиля фрезы в мм
	Номер сечения (см. рис. 57)					
	I	II	III	IV		
6,4	4,5	4,1	6,5	4,2	83,6	2,7
4,3	2,6	2,4	4,7	2,6	83,6	2,9
6,5	4,0	3,6	6,8	3,9	84,1	4,3
4,1	3,7	1,9	4,2	2,4	84,2	4,6
6,5	3,8	2,8	6,7	3,5	84,8	5,8
4,2	2,5	1,6	4,8	2,2	85,2	5,8
4,2	2,1	1,2	4,9	1,6	84,8	6,6
4,4	2,2	1,5	4,7	1,8	85,2	6,6
6,5	3,0	1,9	6,8	2,6	86,9	9,1
4,2	2,2	0,9	4,5	1,3	88,8	10,4
6,0	2,2	1,5	7,0	1,8	92,8	12,4
6,0	2,5	1,4	7,5	1,7	93,3	12,9

На прокатанных заготовках в результате нагрева и пластической деформации структура наплавленной стали полностью исправлена. Структура у вершины зуба представляет собой сорбито-

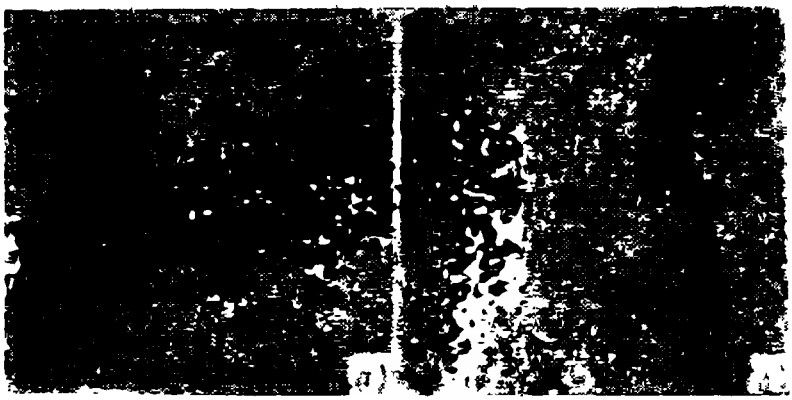


Рис. 58. Структура наплавленной быстрорежущей стали Р18 после горячей прокатки профиля резьбы червячной фрезы с модулем 5 *мм*. ×115:

а — у вершины зуба; *б* — на расстоянии 6 *мм* от вершины зуба к его основанию

образный перлит и мелкие равномерно распределенные карбиды (рис 58, *а*). Балл карбидной неоднородности 1. По сечению зуба структура наплавленной стали не одинакова. На расстоянии 6 *мм*

от вершины зуба к его основанию структура несколько крупнее, чем у вершины зуба, и представляет собой сорбитообразный перлит и мелкую карбидную сетку по границам зерен (рис. 58, *б*) Балл карбидной неоднородности 1.

Прокатанные заготовки подвергались термической обработке по режиму быстрорежущей стали Р18. После термической обработки трещин на заготовках не обнаружено.

В результате проведенных экспериментов установлено, что при прокатке наплавленных заготовок быстрорежущей сталью Р18 дефектов в виде отслоения или трещин наплавленного слоя не происходит.

С учетом всех переплифовок профиля червячной фрезы с модулем 5 *мм* при ее эксплуатации наплавленный слой стали Р18 на исходных заготовках должен иметь толщину 9—10 *мм*.

ГЛАВА IV

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПРИ ПОПЕРЕЧНОВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ ИЗДЕЛИЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

1. ТЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ФОРМОВКЕ ПРОФИЛЯ

При прокатке изделий с винтовой поверхностью геометрия прокатываемого профиля зависит не только от геометрии инструмента, но и определяется закономерностями периферийного течения металла в калибрах валков.

При прокатке металл заготовки деформируется заборным конусом валков, кольцевые или винтовые калибры которого затрудняют осевое течение металла.

Деформация металла заготовки осуществляется в результате радиального и осевого обжатия выступами профиля валков.

Формообразование прокатываемого профиля происходит главным образом за счет течения наружных слоев металла заготовки. Рост зуба резьбы происходит несимметрично. Сторона зуба резьбы, совпадающая с направлением осевого перемещения заготовки, — правая сторона, растет быстрее, чем противоположная — левая сторона. На промежуточных стадиях радиального единичного обжатия правая сторона зуба резьбы имеет ступенчатость и угол ее отличается от угла профиля на валках.

При прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемого профиля угол правой стороны зуба резьбы на 0° 30′ — 1° 30′ меньше соответствующего угла профиля на валках.

При прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемого профиля углы профиля зуба резьбы на изделии совпадают с углами профиля на валках. Эти особенности следует учитывать в тех случаях, где по технологическим соображениям необходимо вести прокатку без обжатия наружного диаметра прокатываемого профиля на изделии. При правильно подобранных режимах прокатки ступенчатость профиля не вызывает дефектов.

В табл. 12 приведены результаты измерения угла профиля трапецеидальной резьбы 57 × 6, прокатанной в холодном состоянии с обжатием и без обжатия вершины зуба резьбы.

Таблица 12

Угол профиля трапецеидальной резьбы 57×6

С обжатием наружного диаметра резьбы		Без обжатия наружного диаметра резьбы	
Правая	Левая	Правая	Левая
15°05′	15°06′	14°05′	15°04′
15°10′	15°14′	13°20′	15°01′
14°55′	15°06′	13°46′	15°15′
15°00′	15°12′	13°30′	15°02′
15°03′	15°09′	13°42′	15°12′

Для определения течения металла заготовки при холодной и горячей прокатке трапецеидальной резьбы и заготовок червячных фрез были прокатаны цементированные, биметаллические и сборные заготовки.

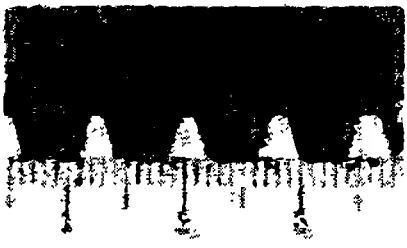


Рис. 59. Продольный разрез цементированной заготовки после холодной прокатки трапецеидальной резьбы 52× (2×8)

Рис. 60. Продольный разрез сборной заготовки после горячей прокатки профиля резьбы червячной фрезы с модулем 7 *мм*

Из рассмотрения макрошлифов, приведенных на рис. 59—61, можно сделать следующие выводы:

Как при холодной, так и при горячей прокатке деформируются только наружные слои металла заготовки. Глубина проникновения пластической деформации при прокатке составляет 1,5—2 высоты прокатанного профиля. Имеет место значительная неравномерность деформации поверхностных слоев металла заготовки.

На вершине прокатанного зуба толщина наплавленного слоя больше исходной. Благодаря осевым обжатиям часть металла с боковой поверхности формуемого зуба перемещается в его вершину. Неравномерность распределения наплавленного слоя по боковым сторонам зуба свидетельствует о том, что большему

Таблица 13

Распределение наплавленного слоя

Вид прокатки	Заготовка	Толщина наплавленного слоя в мм				
		На исходной заготовке	На вершине профиля	На правой стороне профиля	На левой стороне профиля	Во впадине профиля
Холодная прокатка трапецеидальной резьбы	Омедненная	0,22	0,22	0,05	0,09	0,07
	Цементированная	2,2	2,2	0,38	0,64	1,1
Горячая прокатка червяков	Наплавленная	5,0	7,1	1,0	1,8	2,1
	Сборная (толщина стенки первой трубки 5 *мм*)	5,0	6,2	0	1,1	1,7

обжатию подвергается левая сторона зуба, где слой наплавленного металла имеет меньшую толщину.

Результаты измерения распределения наплавленного слоя приведены в табл. 13.

Рис. 61. Продольный разрез биметаллической заготовки, заторможенной при горячей прокатке профиля резьбы червячной фрезы с модулем 5 *мм*

Несмотря на значительную неравномерность течения металла по профилю зуба и некоторому искажению его в начале формования, ни на одном макрошлифе не было плен, закатов и т. п.

В процессе прокатки торцовые поверхности заготовки приобретают вогнутость, которая обусловлена тем, что центральные слои заготовки сохраняют первоначальную длину или имеют незначи-

тельную осевую вытяжку, а поверхностные слои концевых участков получают большую вытяжку в осевом направлении, причем вытяжка материала, образующего угловые вогнутые участки, с увеличением геометрии прокатываемого винтового профиля увеличивается.

Прокатка изделий с винтовой поверхностью является разновидностью процесса поперечновинтовой прокатки. Известно, что при определенных условиях деформации при поперечной прокатке появляются дефекты в виде внутренней полости или рыхлости

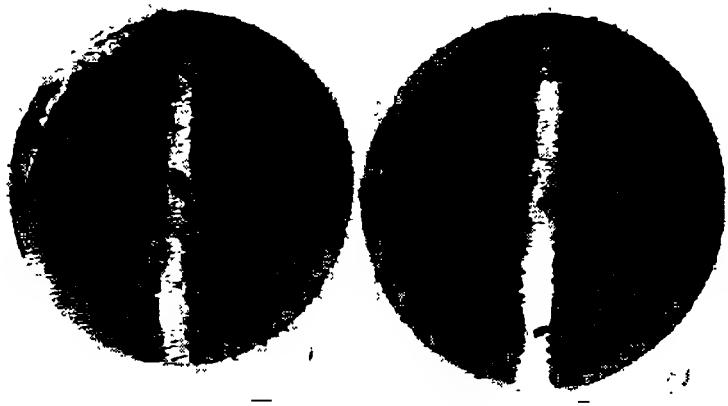


Рис. 62. Поперечный разрез заготовки после прокатки трапецеидальной резьбы 65×10:

а — в холодном состоянии; *б* — в горячем состоянии

металла в осевой зоне прокатываемой заготовки. Теоретически и экспериментально В. С. Смирновым в работах [13], [14] установлено, что причиной образования внутренней полости является всестороннее растяжение металла в осевой зоне заготовки, возникающее в результате деформации при поперечной прокатке. Для большей части деталей сплошного сечения наличие внутренней полости или рыхлости металла не допустимо.

Для уточнения схемы напряженно-деформированного состояния металла при поперечновинтовой прокатке резьбы профильными валками были проведены эксперименты по прокатке заготовок с ввернутыми в их тело винтами. На этих заготовках прокатывалась трапецеидальная резьба 52 × (2 ˙ 8) и 65 ⁄ 10 в горячем и холодном состоянии. Горячая прокатка производилась при температуре 1050 ˚ С. Искривление винтов (рис. 62 и 63) в периферийной зоне указывает на смещение периферийных слоев металла заготовки относительно внутренних: оно происходит в сторону, противоположную направлению вращения заготовки.

При горячей прокатке в центральной зоне образцов под действием растягивающих напряжений между винтами и телом заготовки образуется зазор (рис. 62, *б* и 63, *б*). При холодной прокатке этих зазоров не наблюдается (рис. 62, *а* и 63, *а*).

При холодной прокатке резьбы трудно выявить условия возникновения внутренних дефектов в прокатываемой заготовке, поэтому практически следует принимать во внимание предельную деформацию, при которой обеспечивается требуемое качество наружной поверхности.

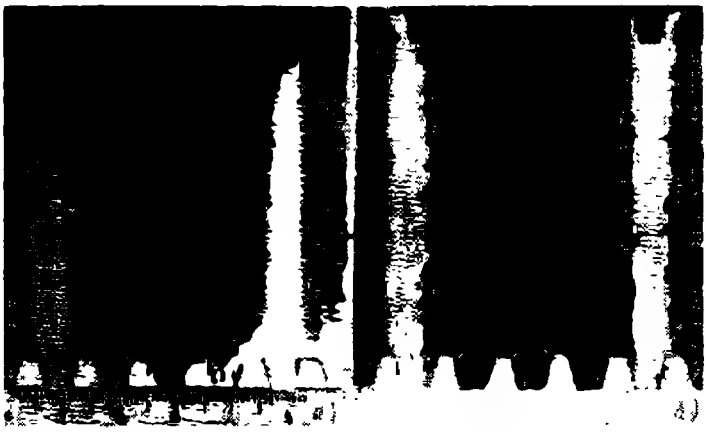


Рис. 63. Продольный разрез заготовки после прокатки трапецеидальной резьбы 65×10:

а — в холодном состоянии; *б* — в горячем состоянии

При правильном ведении процесса напряжения в осевой зоне заготовки как при холодной, так и при горячей прокатке крупных резьб не настолько велики, чтобы вызвать появление дефектов в осевой зоне.

Дефекты в осевой зоне заготовки возможны при дополнительном обжатии по диаметру заготовки с окончательно сформованным профилем, когда имеется полное заполнение металлом калибров валков. В этом случае резко повышается давление металла на валки и в отдельных случаях вскрывается полость.

Прокатка крупных резьб, как и другие процессы, основанные на поперечновинтовой прокатке, характеризуется наличием большего или меньшего скручивания заготовок. Величину скручивания определяли при холодной и горячей прокатке трапецеидальной резьбы 36 × 6, 52 × (2 × 8) и 65 × 10 на заготовках с предварительно простроганными на них канавками и вставленными в заготовку стержнями (рис. 64 и 65). По изменению положения канавок на прокатанных заготовках определяли величину скру-

чивания. При холодной прокатке величина скручивания составляет 0° 30′—1° 30′, а при горячей 3—5°. Направление скручивания противоположно направлению вращения заготовки. При неравномерном распределении давления металла на валки в очаге деформации, вызванном изменением ширины контакта по длине валка, и неравномерном распределении среднего удельного давления на поверхностные слои металла заготовки в очаге деформации

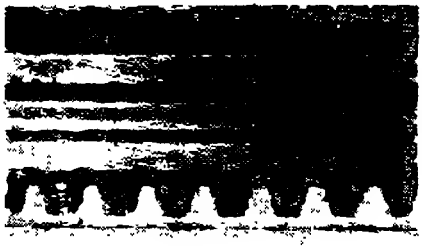


Рис. 64. Продольный разрез заготовки с вставленными стержнями после холодной прокатки трапецеидальной резьбы 65×10

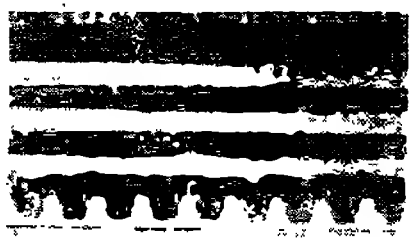


Рис. 65. Продольный разрез заготовки с вставленными стержнями после горячей прокатки трапецеидальной резьбы 52× (2×8)

действуют силы трения (разные как по величине, так и по направлению), которые и вызывают скручивание заготовки.

Радиальное единичное обжатие, рекомендуемое при прокатке изделий с винтовой поверхностью, не влияет на величину скручивания наружного слоя металла заготовки.

2. ДЕФЕКТЫ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

При прокатке изделий с винтовой поверхностью из-за одностороннего действия калибров валков на концах прокатываемой заготовки происходит осевая вытяжка металла, вследствие чего крайние 1,5—2 витка прокатанной заготовки не имеют полной высоты профиля. Передний конец заготовки ввиду наличия конуса всегда имеет бо́льший участок с неполной высотой профиля, чем задний конец. С увеличением шага и высоты прокатываемого профиля с винтовой поверхностью длина участка с неполной высотой профиля заготовки увеличивается.

На заднем конце заготовки происходит растяжка шага и уменьшение внутреннего диаметра прокатываемого профиля. По мере продвижения заднего конца заготовки между валками растяжка шага профиля постепенно увеличивается, а внутренний и наружный диаметры уменьшаются. Это происходит от упругих деформаций узлов стана и изменения межцентрового расстояния между

валками по мере продвижения заднего конца заготовки между ними.

При штучной прокатке заготовок с конусом участок с увеличенным шагом и уменьшенным внутренним диаметром профиля может достигать максимального значения, близкого к ширине валков. Непрерывная прокатка таких заготовок (одна за одной с подпором) уменьшает растяжку шага резьбы и сокращает участок с растянутым шагом до 0,5 ширины валков. При непрерывной прокатке заготовок без конуса с подпором растяжки шага резьбы на заднем конце заготовки не происходит.

Сократить участок профиля с увеличенным шагом можно также путем повышения жесткости станов и уменьшения ширины валков. Эти особенности процесса, как и осевую вытяжку, необходимо учитывать при назначении длины заготовки под прокатку и проточек для крепления на концах прокатанных изделий.

При прокатке изделий с винтовой поверхностью могут быть наружные и внутренние дефекты.

Рис. 66. Задиры наружного диаметра трапецеидальной резьбы 52× (2×8), прокатанной в холодном состоянии

К наружным дефектам относятся:

1) задиры по наружному диаметру прокатываемого профиля;

2) отпечатки заходов винтовых калибров валков на боковых сторонах профиля;

3) подрезка зуба и вдавливание срезанного металла во впадину профиля;

4) образование трещин во впадине прокатываемого профиля;

5) шелушение металла по профилю изделия.

К внутренним дефектам относится образование трещин или вскрытие полости в заднем конце прокатываемой заготовки.

Задиры по наружному диаметру прокатываемого профиля (рис. 66) на заготовке происходят при прокатке на двухвалковых станах от налипания металла на рабочую поверхность поддерживающих проводок при недостаточной их чистоте поверхности и технологической смазке. Причиной возникновения задиров также является неправильная установка поддерживающих проводок. Смещение проводки от правильного положения приводит к увеличению давления на одну из них, что способствует прилипанию металла заготовки к рабочей поверхности проводки.

При прокатке на трехвалковых станах задиры наружного диаметра прокатанной резьбы отсутствуют.

Отпечатки (вмятины) заходов витков профиля валков на боковых сторонах прокатываемого профиля происходят при неправиль-

ном изготовлении заходов профиля валков, при наличии люфтов в кинематической цепи привода валков и неправильной установке направляющих входной и выходной поддерживающих проводок.

Рис. 67. Трещины во впадине круглой резьбы 136×32, прокатанной в горячем состоянии

Подрезка зуба и закатывание срезанного металла во впадину профиля происходят при недостаточно точной осевой и угловой настройке валков, а также при острых углах вершин деформирующих гребней заборного конуса валков.

Рис. 68. Вскрытие полости на заднем конце заготовки при холодной прокатке скругленной резьбы 36×6

Образование трещин во впадине прокатываемого профиля (рис. 67) происходит в двух случаях:

а) при холодной и горячей прокатке от избытка металла в калибрах валков при заниженном межцентровом расстоянии последних;

б) при холодной прокатке от перенапряжения верхних слоев металла заготовки во впадине прокатываемой резьбы.

Во избежание трещин во впадине прокатываемого профиля в холодном состоянии следует предусматривать максимально допустимый радиус закругления вершин деформируемых гребней валков.

Образование трещин и вскрытие полости в заднем конце заготовки (рис. 68) происходит при прокатке профиля на заготовках

с глубокой центровкой (15—20 *мм*) или заниженном межцентровом расстоянии валков.

Шелушение металла на прокатанном профиле происходит при холодной прокатке с радиальным обжатием $\Delta r = 0{,}01 \div 0{,}02$ *мм* чрезмерно широкими валками от перенаклепа верхнего слоя металла заготовки.

При соблюдении технологических режимов прокатки и качественного изготовления валков описанных выше дефектов может не быть.

3. РАЗМЕРЫ И ФОРМА ЗАГОТОВКИ

При прокатке изделий с винтовой поверхностью большое влияние на точность прокатываемого изделия, усилие прокатки и стойкость валков оказывает диаметр заготовки под прокатку. При диаметре заготовки меньше номинального прокатанное изделие имеет не полную высоту профиля и наружный диаметр меньше номинального. При диаметре заготовки больше номинального происходит переполнение металлом калибров валков, в результате чего резко возрастает давление металла на валки, момент прокатки, потребляемая мощность и снижается стойкость валков. Наружный и внутренний диаметры прокатанного изделия (прежде всего наружный) превышают пределы допуска.

При определении диаметра заготовки необходимо учитывать осевую вытяжку ее после прокатки. Осевая вытяжка заготовки зависит от геометрии профиля, шага и наружного диаметра прокатываемого профиля, способа нагрева заготовки под прокатку, калибровки заборного конуса валков, величины радиального единичного обжатия и других факторов. При прокатке круглой резьбы происходит более значительная осевая вытяжка заготовки по сравнению с прокаткой трапецеидальной резьбы. С увеличением шага и высоты резьбы, величины радиального единичного обжатия при одном и том же диаметре прокатываемого изделия осевая вытяжка заготовки увеличивается. При поверхностном нагреве заготовок т. в. ч. осевая вытяжка их меньше, чем при сплошном нагреве.

При развалке калибров на заборном конусе валков уменьшается осевая вытяжка заготовки.

Для теоретического определения коэффициента осевой вытяжки заготовки необходимо знать отношение объема металла, перемещенного из впадины в зуб, к объему металла, вытесненного из впадины профиля, на изделии

$$\theta = \frac{V_{пер}}{V_{выт}}.$$

В зависимости от условий деформации это отношение теоретически может изменяться от 0 до 1. При $\theta = 1$ объем металла, вытесненного из впадины, полностью переходит в зуб и осевая

вытяжка заготовки отсутствует. При $\theta = 0$ металл из впадины не перемещается в зуб и осевая вытяжка имеет максимальную величину.

При прокатке трапецеидальной резьбы, червяков и заготовок червячных фрез объем перемещенного металла из впадины в зуб (рис. 69) определяется по следующей формуле:

$$V_{пер} = \pi h_1 \left[r_з (a_1 - b_1) + \frac{h_1}{3} (2a_1 + b_1) \right]. \quad (55)$$

Объем вытесненного металла из впадины профиля на изделии (рис. 70)

$$V_{выт} = \pi h_2 \left[r_з (a_2 + b_2) - \frac{h_2}{3} (2b_2 + a_2) \right], \quad (56)$$

где $r_з$ — радиус заготовки.

Коэффициент осевой вытяжки заготовки

$$\mu = \frac{V_{выт} - V_{пер}}{t \pi d_з^2}, \quad (57)$$

где t — шаг профиля.

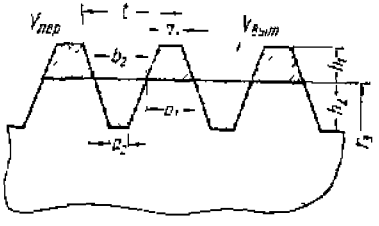


Рис. 69. Схема для определения коэффициента осевой вытяжки металла заготовки

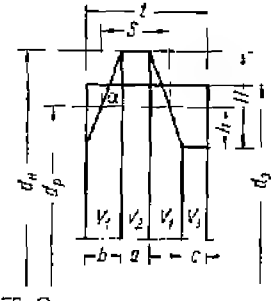


Рис. 70. Схема для определения диаметра заготовки при прокатке изделия с трапецеидальным профилем

При холодной прокатке крупных резьб осевая вытяжка заготовок составляет от 0 до 9%, а при горячей прокатке от 0 до 20%.

При горячей прокатке заготовок червячных фрез с модулем 2,5—8 *мм* осевая вытяжка составляет от 0,3 до 5,6%.

Для практических расчетов диаметр исходной заготовки с учетом ее осевой вытяжки определяется из условия постоянства объема металла при прокатке

$$V_з = \mu V_{пер},$$

где $V_з$ — объем исходной заготовки;
$V_{пер}$ — объем прокатанной заготовки;
μ — коэффициент осевой вытяжки заготовки.

На длине заготовки, равной одному шагу t,

$$V = \frac{\pi d_з^2 t}{4},$$

где $d_з$ — диаметр заготовки под прокатку.

Объем прокатанной заготовки на той же длине (рис. 70) равен

$$V_{пр} = 2V_1 + V_2 + V_3;$$

$$V_1 = \frac{\pi b}{12}(d_н^2 + d_р^2 + d_н d_р); \quad b = H \cdot \operatorname{tg}\alpha;$$

$$V_2 = \frac{\pi d_н^2}{4} a; \quad a = s - 2(H - h)\operatorname{tg}\alpha;$$

$$V_3 = \frac{\pi d_р^2}{4} c; \quad c = t - s - 2h \operatorname{tg}\alpha,$$

где $d_р$ — расчетный диаметр заготовки;
$d_н$ — наружный диаметр прокатанного профиля,
H — высота прокатанного профиля;
s — толщина зуба прокатанного профиля на расчетном диаметре;
α — половина угла прокатанного профиля.

Подставив значение $V_з$ и $V_{пр}$, получим

$$d_з = \sqrt{\frac{\mu}{t}\left[\frac{2H \operatorname{tg}\alpha}{3}(d_н^2 + d_р^2 + d_н d_р) d_н^2 \left[s - 2H \operatorname{tg}\alpha - \right.\right.} \\ \left.\left. + 2h \operatorname{tg}\alpha + d_р^2 (t - s - 2h \operatorname{tg}\alpha)\right]. \qquad (58)$$

При определении диаметра заготовки принимаются средние значения размеров прокатанной заготовки (d, t, s) за исключением наружного диаметра $D_н$ и высоты зуба H:

$$d_р = d_н + \Delta d_к - 0{,}5\,\Delta d_{вн}; \quad H_р = \frac{d_{р.н} - d_р}{2},$$

где $d_{р.н}$ — расчетное значение наружного диаметра прокатанной заготовки;
$\Delta d_н$ — допуск на наружный диаметр прокатанной заготовки;
$\Delta d_{вн}$ — допуск на внутренний диаметр прокатанной заготовки;
H — расчетное значение высоты зуба;
$d_к$ — минимальное значение наружного диаметра.

При холодной прокатке полукруглого профиля резьбы винтов качения (см. рис. 20) валками с развалкой винтовых калибров на заборном конусе (см. рис. 21) осевая вытяжка заготовок отсутствует. В этом случае диаметр заготовки под прокатку определяется из условия постоянства объема металла

$$V_з = V_{пр.в}, \qquad (59)$$

где $V_з$ — объем исходной заготовки;
$V_{пр.в}$ — объем прокатанного винта.

На длине заготовки, равной одному шагу t (рис. 71),

$$V_з = \frac{\pi d_з^2}{4} t. \qquad (60)$$

Объем прокатанного винта на той же длине равен

$$V_{пр.в} = V_1 + V_2; \tag{61}$$

$$V_2 = \frac{\pi d_н^2}{4} H. \tag{62}$$

Объем V_1 представляет собой тело вращения полуокружности NMK с радиусом R вокруг оси X, отстоящей на расстоянии a от центра этой полуокружности.

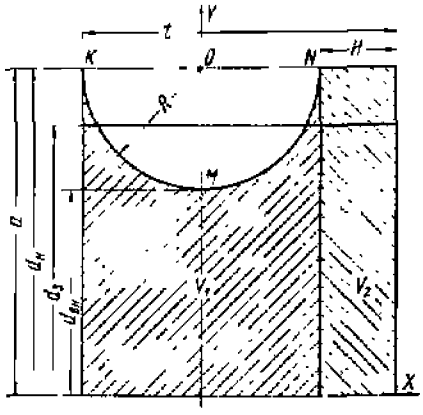


Рис. 71. Схема для определения диаметра заготовки при прокатке винтов качения с полукруглым профилем резьбы

Расчет объема тела V_1 (рис. 71) производится методом интегрирования уравнения кривой NM, представляющей собой четверть окружности с центром O с последующим удвоением расчетного объема.

Для упрощения расчета не учитываем угол подъема винтовой линии, составляющий 3°39′.

Уравнение кривой NM

$$x^2 + (a - y)^2 = R^2;$$
$$y = a \pm \sqrt{R^2 - x^2}. \tag{63}$$

Объем тела вращения, образованного кривой NM:

$$V_1 = \int_0^R y\,dx.$$

Подставив значение y, получим

$$V_1 = 2\int_0^R (a \pm \sqrt{R^2 - x^2})\,dx.$$

Элементарный объем

$$dV = \pi y^2 dx = \pi\,(a^2 - R^2 - x^2 \pm 2a\sqrt{R^2 - x^2})\,dx.$$

Объем тела вращения

$$V_1 = 2\pi \int_0^R (a^2 + R^2 - x^2 \pm 2a\sqrt{R^2 - x^2})\,dx =$$

$$= 2\pi \left[\int_0^R (a^2 + R^2)\,dx - \int_0^R x^2\,dx \pm 2a\int_0^R \sqrt{R^2 - x^2}\,dx\right] =$$

$$= 2\pi \left[(a^2 + R^2)R - \frac{1}{3}R^3 \pm 2a\left(\frac{R}{2}\sqrt{R^2 - R^2} + \frac{R^2}{2}\arcsin\frac{R}{R}\right)\right] =$$

$$= 2\pi R\left(a^2 + \frac{2}{3}R^2 - \frac{\pi}{2}Ra\right). \tag{64}$$

Подставив в формулу (59) выражения (60), (62) и (64), получим

$$\frac{\pi d_3^2}{4} t = \frac{\pi d_н^2}{4} H + 2\pi R \left(a^2 + \frac{2}{3} R^2 - \frac{\pi}{2} Ra \right); \qquad (65)$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{d^2 H + 8R \left(a^2 + \frac{2}{3} R^2 - \frac{\pi}{2} R \cdot a \right)}{t}}. \qquad (66)$$

Таблица 14

Размеры диаметра заготовки

Прокатываемое изделие	Температура прокатки в °С	Материал заготовки (марка стали)	Диаметр заготовки в мм	Высота профиля в мм	Наружный диаметр прокатанного изделия
Круглая резьба 22 · 6	Холодная прокатка	35	$20{,}0_{-0{,}05}$	2,0	22,00
Скругленная резьба 36×6	То же	45	$32{,}9_{-0{,}05}$	3,5	35,95
То же 57×6	»	45	$53{,}9_{-0{,}05}$	3,5	56,95
Трапецендальная резьба 36×6	»	45	$32{,}8_{-0{,}05}$	3,5	36,00
То же 57×6	»	45	$53{,}8_{-0{,}05}$	3,5	57,00
» 52×(2×8)	»	45	$47{,}8_{-0{,}05}$	4,5	52,00
» 55×(2×8)	»	45	$50{,}8_{-0{,}05}$	4,5	55,00
» 60×8	»	45	$55{,}8_{-0{,}05}$	4,5	60,00
» 65×10	»	Ст.5	$60{,}3_{-0{,}05}$	5,5	64,95
Полукруглая резьба винта качения 45×8,4	»	45	$41{,}6_{-0{,}05}$	3,0	45,00
Трапецендальная резьба 36×10	1000	45	$32{,}0_{-0{,}05}$	5,5	36,0
То же 40×(2×10)	1000	45	$36{,}0_{-0{,}05}$	5,5	40,0
Круглая резьба 136×32	1000	40Х	$124{,}0_{-0{,}1}$	17,0	136,0
» » 100×20	1000	40Х	$91{,}5_{-0{,}1}$	10,5	100,0
Заготовка червячной фрезы m_1	1100	Р18	$62{,}5^{+0{,}2}$	2,5	64,0
То же m_2	1100	Р18	$68{,}0^{+0{,}2}$	5,0	71,0
» m_3	1100	Р18	$88{,}0^{+0{,}2}$	7,5	91,5
Заготовка червячной фрезы $m4$	1100	Р18	$94{,}5^{+0{,}2}$	10,0	101,0
То же $m5$	1100	Р18	$103{,}5^{+0{,}2}$	12,5	113,5
» $m6$	1100	Р18	$115{,}5^{+0{,}2}$	15,0	127,0
» $m7$	1100	Р18	$113{,}5^{+0{,}2}$	17,5	127,0
» $m8$	1100	Р18	$127{,}0^{+0{,}2}$	20,0	142,0
» $m9$	1100	Р18	$126{,}0^{+0{,}2}$	22,5	142,0

При определении диаметра заготовки для горячей прокатки винтов качения с полукруглым профилем резьбы в формулу (66) необходимо вводить коэффициент, учитывающий осевую вытяжку заготовки в процессе прокатки.

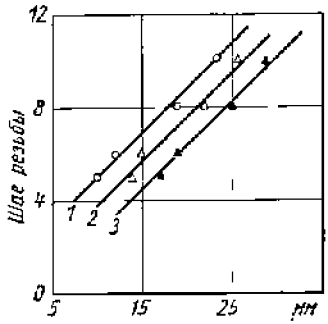


Рис. 72. Зависимость длины конуса на заготовке и участков с неполной высотой профиля от шага прокатываемой резьбы в холодном состоянии:

1 — оптимальная длина конуса на заготовке; *2* — длина участка с неполной высотой профиля на заднем конце прокатанной заготовки; *3* — длина участка с неполной высотой профиля на переднем конце прокатанной заготовки

Для некоторых изделий диаметр заготовки определен опытным путем (табл. 14).

Заготовки для прокатки должны иметь строго цилиндрическую форму. Конусность, овальность и ступенчатость диаметра заготовки в процессе прокатки не устраняется и отрицательно сказывается на работе стана и стойкости валков.

Шероховатость поверхности заготовки при холодной прокатке должна соответствовать 5—6-му классу чистоты поверхности.

Для облегчения задачи заготовки в валки на одном конце ее необходимо протачивать конус 6—8°. Длина конуса зависит от шага прокатываемого профиля на заготовке, угла разворота осей валков α, угла заборного конуса валков φ, температуры прокатки, способа калибровки заборного конуса валков и других факторов. С увеличением шага прокатываемого профиля на заготовке, угла заборного конуса

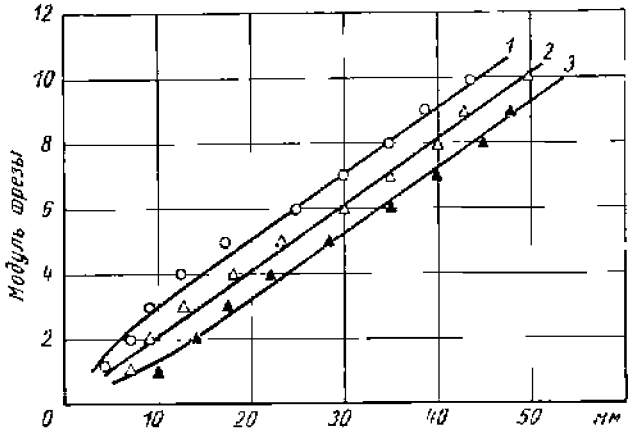


Рис. 73. Зависимость длины конуса на заготовке и участков с неполной высотой профиля от модуля червячной фрезы прокатываемой в горячем состоянии:

1 — оптимальная длина конуса на заготовке; *2* — длина участка с неполной высотой профиля на заднем конце прокатанной заготовки; *3* — длина участка с неполной высотой профиля на переднем конце прокатанной заготовки

валков φ и уменьшения угла разворота осей валков α и температуры прокатки длина конуса увеличивается. При принудительной подаче заготовки в валки оптимальная длина конуса на ней при холодной прокатке крупных резьб приведена на рис. 72 и при горячей прокатке заготовок червячных фрез — на рис. 73. На этих рисунках видно, что с увеличением шага прокатываемого профиля с винтовой поверхностью длина конуса на заготовке, длина участков с неполным по высоте профилем на переднем и заднем концах прокатанной заготовки увеличиваются. При недостаточной длине конуса на заготовке деформирующие гребни в начале заборного конуса валков сгоняют металл в облой и участок с неполной высотой профиля увеличивается.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЗАГОТОВКИ, РАСХОДА МЕТАЛЛА И ОТХОДОВ

При определении длины заготовки под прокатку необходимо учитывать неполные витки по высоте профиля на концах прокатанной заготовки, растяжку шага на заднем конце прокатанной заготовки и ее осевую вытяжку после прокатки. С учетом этих явлений процесс прокатки заготовок на одно короткое изделие длиной 100—200 *мм* (заготовки червячных фрез, некоторых видов червяков и других изделий, у которых очень малые буртики) становится не эффективным. В этих случаях нужно длину заготовки рассчитать на несколько изделий. При определении длины заготовки необходимо учитывать кратность целому числу изделий в заготовке, суммарную длину неполного по высоте профиля на концах прокатанной заготовки, ширину отрезного инструмента, припуск на обработку торцов изделий и осевую вытяжку заготовки.

При использовании концов прокатанной заготовки ширина одного буртика с припуском на обработку одного торца и ширина реза включаются в длину участков с неполным по высоте профилем.

Длина заготовки определяется по формуле

$$l_в = l_и n + \Delta_р (n + 1) + l_{н.в} - 2 (\Delta_р + \Delta_б + \Delta_{пр}) - \lambda_в, \quad (67)$$

где $l_и$ — длина изделия с припуском на торцовку;
n — количество изделий в заготовке;
$\Delta_р$ — ширина реза прокатанной заготовки;
$l_{н.в}$ — суммарная длина неполного по высоте профиля на концах прокатанной заготовки;
$\Delta_б$ — ширина буртика;
$\lambda_з$ — осевая вытяжка заготовки после прокатки.

Раскрой прутков на мерные заготовки необходимо производить так, чтобы некратность прутков и отходы по неполной высоте витков профиля на переднем и заднем концах прокатанной заготовки были минимальными.

Некратность прутков должна быть

$$L_{н.п} < l_и.$$

Анализ формулы (67) показывает, что длина заготовки для каждого изделия зависит от числа изделия, входящих в заготовку.

Величина

$$C_m = l_{н.в} - 2\Delta_{пр} - 2\Delta_б - 2\lambda_р$$

является постоянной величиной лишь для данного изделия.

Формулу для определения длины заготовки под прокатку можно записать тогда в следующем виде:

$$l_з = l_и n + (n + 1)\,\Delta_р + C_m - \lambda_з, \qquad (68)$$

где C_m — отходы металла, связанные с неполной высотой витков профиля на переднем и заднем концах прокатанной заготовки.

С увеличением количества изделий в заготовке отходы металла, связанные с неполной высотой витков профиля, на одно изделие сокращаются.

Число изделий, которое можно получить из данного прутка, определяется по формуле

$$z = \frac{L_{пр} - L_{д\ к} - L_{н.\ пр} - iC_m - (i-1)\,\Delta'_р - i\Delta_р + \lambda_{пр}}{l_и - \Delta_р}, \qquad (69)$$

где $L_{пр}$ — длина исходного прутка;

$L_{д\ к}$ — суммарная длина дефектных концов прутка;

$L_{н.\ пр}$ — длина некратного участка прутка;

$\Delta_р$ — ширина реза при раскрое прутка;

i — число заготовок в прутке;

$\lambda_{пр}$ — осевая вытяжка прутка после прокатки.

Так как $L_{н.\ пр} < l_и$, то ее величину можно отнести за счет дробной величины z. Тогда формула (69) будет иметь вид

$$z = \frac{L_{пр} - L_{д\ к} - iC_m - (i-1)\,\Delta'_р - i\Delta_р + \lambda_{пр}}{l_и + \Delta_р}. \qquad (70)$$

При раскрое прутков на мерные заготовки отходы металла складываются из отходов на дефектные концы прутка, отходов на некратность длины прутка и отходов металла в стружку при резке прутка

$$L_{отх.\ пр} = L_{д.\ к} + L_{н.\ пр} + (i+1)\,\Delta'_р. \qquad (71)$$

При раскрое прокатанной заготовки на мерные изделия отходы металла складываются из отходов на неполную высоту витков профиля на концах заготовки и отходов металла в стружку при резке заготовки

$$l_{отх.\ заг} = C_m + (n+1)\,\Delta_р. \qquad (72)$$

Таким образом, при прокатке коротких изделий (червячные фрезы и др.) суммарные отходы металла на каждом прутке состоят из отходов на дефектные концы прутка, отходов на некратность длины прутка, отходов на неполную высоту витков профиля и отходов в стружку при резке прутка на мерные заготовки и резке прокатанных заготовок на мерные изделия

$$L_{сум\ отх} = L_{д.к} + L_{н.пр} + (i-1)\,\Delta_p' + iC_m + (n+1)\,\Delta_p. \quad (73)$$

Процент отходов на дефектные концы прутка определяется по формуле

$$\eta_{д.к} = \frac{2\ 0{,}23D_{пр}}{L_{пр}}\ 100, \quad (74)$$

где 0,23 — коэффициент, взятый из «Справочника инструментальщика» Брегера;

$D_{пр}$ — диаметр прутка без учета допуска.

Процент отходов на некратность длины

$$\eta_{некр.пр} = \frac{l_u}{2L_{пр}}\ 100. \quad (75)$$

Процент отходов на неполную высоту витков профиля на концах прокатанной заготовки в прутке

$$\eta_{н.в} = \frac{C_m \cdot i}{L_{пр}}\ 100. \quad (76)$$

Процент отходов металла в стружку при резке прутка на мерные заготовки, при резке прокатанной заготовки на мерные изделия и торцовки их определяется по формуле

$$\eta_{стр} = \frac{(i-1)\,\Delta_p' + (z+1)\,\Delta_p}{L_{пр}}\ 100. \quad (77)$$

Суммарный процент отходов металла при прокатке коротких изделий

$$\eta_{сум.отх.пр} = \frac{L_{пр} - zl_u}{L_{пр}}\ 100. \quad (78)$$

Норма расхода металла на одно изделие при прокатке коротких изделий

$$p = \frac{\pi d^2 \left(\sum l_{шт} + L_{н.пр}\,\frac{1}{2}\,L_{д.кг}\right)}{4z}, \quad (79)$$

где d — диаметр прутка с учетом 100% допуска;

g — удельный вес стали;

z — количество изделий в прутке.

Приведенные формулы позволяют определить оптимальную длину заготовки на несколько изделий и процент отходов металла при прокатке коротких изделий с винтовой поверхностью.

ГЛАВА V

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ УСИЛИЙ НА ВАЛКИ И РАСХОДА ЭНЕРГИИ ПРИ ПОПЕРЕЧНОВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ ИЗДЕЛИЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПЛОЩАДИ

Поперечновинтовая прокатка изделий с винтовой поверхностью производится при небольших углах разворота осей валков (1—4°) и сравнительно неширокими валками (160—170 *мм*).

Это позволяет пренебречь влиянием угла перекоса валков на контактную поверхность и считать оси валков и заготовки расположенными в одной плоскости.

Контактная площадь при поперечновинтовой прокатке профильными валками (рис. 74) состоит из отдельных участков и определяется как сумма площадей этих участков [16], [17].

Горизонтальная проекция контактной площади с учетом бокорых граней калибров валков при прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемого профиля выражается следующим образом:

$$F = \left(l_{з.к} - \sum_{1}^{n} x + l_{к.у} \right) b_{ср},$$

где $l_{з.к}$ — длина заборного конуса валков;

$l_{к.у}$ — длина калибрующего участка валков;

$x_1, x_2, \ldots x_n$ — длина необжатых участков, производимых заборным конусом валков;

n — число необжатых участков в заборном конусе валков;

$b_{ср}$ — средняя ширина поверхности контакта.

При прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемого профиля

$$F = \left(l_{з.к} - \sum_{1}^{n} x + l_{к.у} - m \cdot a \right) b_{ср},$$

где m — число впадин на калибрующем участке валков;

a — ширина впадины по внутреннему диаметру валков

Для упрощения расчета принимаем, что рост зуба профиля при прокатке происходит равномерно.

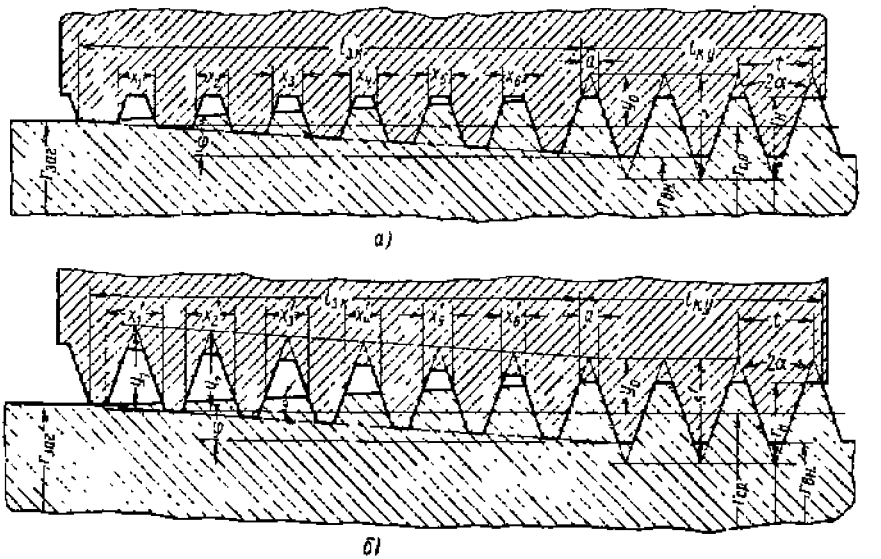
Определив длину необжатых участков x_1, x_2, . . ., x_n, которые образуются при формовании заборным конусом с неполным симметричным профилем (рис. 74, *а*), и просуммировав ряд, получим

$$\sum_1^n x = n\left[2y_0 - \frac{h}{2}\cdot\frac{(n-1)}{n}\right]\operatorname{tg}\alpha,$$

где

$$n = \frac{l_{з.к}}{t};\quad y_0 = \frac{s}{2};\quad s = \frac{t}{2\operatorname{tg}\alpha};$$

h — высота профиля;
α — угол наклона боковой грани калибра,
t — шаг прокатываемого профиля.



а)

б)

Рис. 74. Продольный разрез валков и заготовки в очаге деформации:
а и *б* — заборный конус валков соответственно с неполной и полной высотой калибров

Длина контактной поверхности на заборном конусе

$$L_{з.к} = l_{з.к}n\left[2y_0 - \frac{h}{2}\cdot\frac{(n-1)}{n}\right]\operatorname{tg}\alpha.$$

При прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемого профиля длина контактной поверхности на цилиндрическом участке валков $L_{к.у} = l_{к.у}$, тогда горизонтальная проекция

контактной площади

$$F = \left[l_{з.к} - n\left(2y_0 - \frac{h}{2} \cdot \frac{n-1}{n}\right) \operatorname{tg}\alpha + l_{к.у} \right] b_{ср}. \qquad (80)$$

При прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемого профиля суммарная длина обжатых участков

$$L_{к.у} = l_{к.у} m \left[\frac{t}{2} - (D_н - 0{,}5t - D_{вн}) \operatorname{tg}\alpha \right],$$

где

$$m = \frac{l_{к.у}}{t};$$

$D_н$ — наружный диаметр валков;
$D_{вн}$ — внутренний диаметр валков.

В этом случае горизонтальная проекция контактной площади

$$F = \left\{ l_{з.к} n \left[2y_0 - \frac{h}{2} \cdot \frac{n-1}{n} \right] \operatorname{tg}\alpha + \right.$$

$$\left. + l_{к.у} - n \left[\frac{t}{2} - (D_н - 0{,}5t - D_{вн}) \operatorname{tg}\alpha \right] \right\} b_{ср}. \qquad (81)$$

Рассмотрим прокатку валками, которые имеют заборный конус с полным симметричным профилем (рис. 74, *б*).

Суммарная длина необжатых участков x_1', x_2', . . ., x_n' на заборном конусе валка после суммирования ряда

$$\sum_1^n x = n \left[2y_1 - \frac{n-1}{n}\left(y_1 - y_0 + \frac{h}{2}\right) \right] \operatorname{tg}\alpha.$$

Длина обжатых участков заборным конусом равна

$$L_{з.к} = l_{з.к} - n \left[2y_1 - \frac{n-1}{n}\left(y_1 - y_0 + \frac{h}{2}\right) \right] \operatorname{tg}\alpha.$$

При прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемого профиля горизонтальная проекция контактной площади определится по формуле

$$F = \left\{ l_{з.к} - n \left[2y_1 - \frac{n-1}{n}\left(y_1 - y_0 - \frac{h}{2}\right) \right] \operatorname{tg}\alpha + l_{к.у} \right\} b_{ср}, \qquad (82)$$

где $y_1 = y_0 + l_{з.к} \operatorname{tg}\varphi$ (φ — угол заборного конуса валков).

При прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемого профиля горизонтальная проекция контактной площади определяется по формуле

$$F = \left\{ l_{з.к} - n \left[2y_1 - \frac{n-1}{n}\left(y_1 - y_0 + \frac{h}{2}\right) \right] \operatorname{tg}\alpha \right\} +$$

$$+ l_{к.у} - m \left[\frac{t}{2} - (D_н - 0{,}5t - D_{вн}) \operatorname{tg}\alpha \right] b_{ср}. \qquad (83)$$

При прокатке несимметричных профилей (упорной резьбы и др.) формулы для определения контактной площади имеют другой вид. Если заборный конус валков имеет неполную высоту профиля, то при прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемой резьбы

$$F = \left[l_{з.к} - \frac{n}{2}\left(2y_0 - \frac{h}{2}\,\frac{n-1}{n}\right)(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2) + l_{к.у}\right] b_{ср}, \quad (84)$$

где α_1 и α_2 — углы наклона грани несимметричного калибра валков.

При прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемой резьбы

$$F = \left\{ l_{з.к} - \frac{n}{2}\left(2y_0 - \frac{h}{2}\cdot\frac{n-1}{n}\right)(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2) + \right.$$

$$\left. + l_{к.у} - m\left[\frac{t}{2} - \left(\frac{D_к - D_{ср}}{2}\right)(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2)\right]\right\} b_{ср}, \quad (85)$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр валков.

Если заборный конус имеет полную высоту профиля, то при прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемой резьбы

$$F = \left[l_{з.к} - \frac{n}{2}\left[2y_1 - \frac{n-1}{n}\left(y_1 - y_0 + \frac{h}{2}\right)\right](\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2) + l_{к.у}\right] b_{ср}. \quad (86)$$

При прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемой резьбы

$$F = \left\{ l_{з.к} - \frac{n}{2}\left[2y_1 - \frac{n-1}{n}\left(y_1 - y_0 + \frac{h}{2}\right)\right](\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2) + \right.$$

$$\left. + l_{к.у} - m\left[\frac{t}{2} - \frac{D_к - D_{ср}}{2}(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2)\right]\right\} b_{ср}. \quad (87)$$

Средняя ширина поверхности контакта $b_{ср}$ по длине очага деформации является величиной переменной, зависящей от диаметра валка и заготовки от радиальных единичных обжатий. Вследствие того, что $b_{ср}$ на заборном конусе изменяется по некоторой кривой, для точного определения контактной площади эту кривую надо разбить на ряд участков, определить площадь каждого участка и суммировать их.

С достаточной для практики точностью $b_{ср}$ при горячей прокатке крупной резьбы профильными валками и при равномерном радиальном обжатии ($\Delta r = \text{const}$) можно определить по формуле А. И. Целикова [18]

$$b \approx \sqrt{\frac{2Rr}{R+r}\Delta r}. \quad (88)$$

Фактически ширина контакта будет немного больше вследствие упругого сжатия валков и прокатываемой заготовки.

При подстановке в формулу (88) значений R и r, равных внутреннему и наружному радиусам валка и прокатываемого профиля, разница в определении ширины контакта составляет 8—10%.

При прокатке профильными валками можно пользоваться усредненной величиной контакта, определяемой по формуле

$$b_{cp} \approx \sqrt{\frac{2R_{cp}r_{cp}\Delta r}{R_{cp}+r_{cp}}} = \sqrt{\frac{2(A-r_{cp})\,r_{cp}\Delta r}{A}}, \qquad (89)$$

где A — расстояние между центрами валка и заготовки;
R_{cp} — средний радиус профиля валков;
r_{cp} — средний радиус прокатываемого профиля;
Δr — радиальное единичное обжатие.

При холодной поперечновинтовой прокатке с учетом упругого сжатия гладкими валками А. И Целиковым [19], [20] выведена формула

$$b = b_1 + b_2 \approx \sqrt{\frac{2Rr}{R+r}\Delta r + b_2^2} + b_2; \qquad (90)$$

b_2 определяется по уравнению

$$b_2 \approx 8p\left(\frac{1-\mu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1+\mu_2^2}{\pi E_2}\right)\frac{Rr}{R+r},$$

где $\mu_1 E_1$ — коэффициент Пуассона и модуль упругости валка;
$\mu_2 E_2$ — коэффициент Пуассона и модуль упругости прокатываемой заготовки;
p — удельное давление на контактной поверхности.

При подстановке в формулу (90) значений R и r, равных внутреннему и наружному диаметрам валка и прокатываемого профиля, разница в определении ширины контакта составляет 10—15%.

При прокатке профильными валками также можно пользоваться усредненной величиной контакта, определяемой по формуле

$$b_{cp} = b_1 + b_2 \approx \sqrt{\frac{2R_{cp}r_{cp}}{R_{cp}+r_{cp}}\Delta r + b_2^2} - b_2 =$$

$$= \sqrt{\frac{2(A-r_{cp})\,r_{cp}}{A}\Delta r + b_2^2} + b_2. \qquad (91)$$

2. ИЗМЕРЕНИЕ УСИЛИЙ, МОМЕНТОВ И РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Давление металла на валки, момент и удельный расход энергии при прокатке крупной резьбы и заготовок червячных фрез определяли путем осциллографирования с одновременной записью следующих величин: давления металла на валки, крутящего момента на шпинделе, тока в якоре двигателя, напряжения сети постоянного тока, скорости вращения валков и продолжительности процесса прокатки заготовки [16].

Давление металла на валки измеряли двумя месдозами с наклеенными на них проволочными электротензометрами.

Крутящий момент замеряли с помощью проволочных электротензометров, наклеенных на шпиндель.

Скорость вращения валков записывали с помощью контактной шайбы, насаженной на головку шпинделя. Продолжительность процесса прокатки фиксировалась одним из шлейфов осциллографа.

Результаты измерений и обработки данных при прокатке изделий с винтовой поверхностью валками без развалки винтовых калибров на заборном конусе приведены в табл. 15. Экспериментальные данные показали, что при холодной прокатке крупной резьбы действующие нагрузки и расход электроэнергии в 3—4 раза выше, чем при горячей прокатке (см. № 10—12 и 34—36 табл. 15).

При холодной прокатке скорость вращения валков в рекомендуемых пределах практически не влияет на давление металла на валки, крутящий момент и удельный расход электроэнергии; при горячей прокатке с увеличением скорости вращения валков наблюдается некоторое снижение действующих нагрузок и расхода электроэнергии, что объясняется меньшим падением температуры заготовки при прокатке (см. № 16—27, 34—36 табл. 15). При изменении диаметра прокатываемого профиля (кольцевой рейки с модулем 4 *мм*) давление металла на валки, момент прокатки и удельный расход электроэнергии изменяются незначительно (рис. 75), с увеличением диаметра в 1,7 раза (60—106,5 *мм*) давление металла на валки возрастает в 1,5 раза, момент прокатки увеличивается в 1,6 раза и удельный расход электроэнергии увеличивается в 2 раза.

С уменьшением единичных радиальных обжатий как при холодной, так и при горячей прокатке крупных резьб давление металла на валки и момент прокатки уменьшаются, а удельный расход электроэнергии увеличивается (рис. 76 и 77).

При холодной прокатке трапецеидальной резьбы 52$\frac{1}{2}$× 8 с увеличением единичных радиальных обжатий в 2,7 раза (Δr = = 0,07÷0,19 *мм*) давление металла на валки увеличивается в 1,5 раза, момент прокатки возрастает в 1,9 раза, а удельный расход электроэнергии уменьшается в 1,7 раза (рис. 77).

Зависимость давления металла на валки, момента прокатки и удельного расхода электроэнергии от температуры прокатки приведена на рис. 78.

Приведенные замеры позволили сделать сопоставление удельного расхода электроэнергии при прокатке изделий с винтовой поверхностью и при изготовлении их резанием. Расход электроэнергии при изготовлении резанием определяли по нормативным данным [21].

Из табл. 16 следует, что удельный расход электроэнергии при холодной прокатке в 2—5 раз и при горячей прокатке в 10—15 раз меньше, чем при изготовлении резанием.

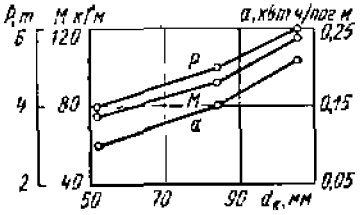
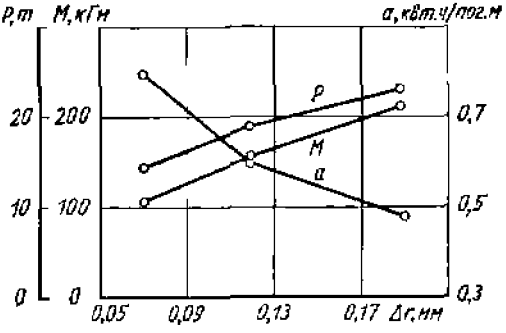


Рис. 75. Зависимость давления металла на валки P, момента прокатки M и удельного расхода энергии a от диаметра прокатываемого профиля кольцевой рейки с модулем 4 *мм*. Валки имели $D_к$ = = 275 *мм*, B = 95 *мм*. Обжатие Δr = = 0,7÷0,14 *мм*. Температура прокатки 1150° С. Материал заготовки — сталь 40Х

Рис. 76. Зависимость давления металла на валки P, момента прокатки M и удельного расхода энергии a от единичного радиального обжатия при холодной прокатке трапецеидальной резьбы 52× × 8. Валки имели $D_к$ — = 109 *мм*; B = 75 *мм*. Материал заготовки — сталь 45



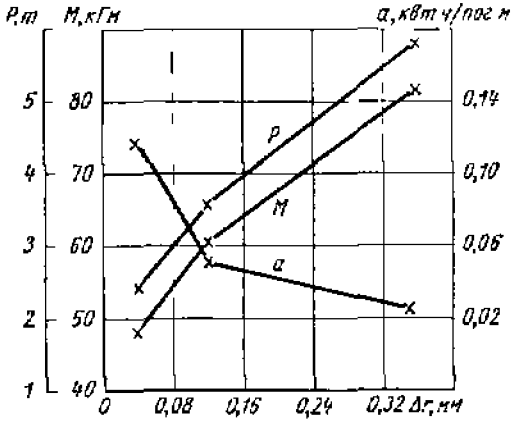


Рис. 77. Зависимость давления металла на валки P, момента прокатки M и удельного расхода электроэнергии a от единичного радиального обжатия при горячей прокатке профиля резьбы червячной фрезы с модулем 2,75 *мм*. Валки имели $D_к$= = 270 *мм*; B = 90 *мм*. Температура прокатки 1150° С. Материал заготовки — сталь 45

Рис. 78. Зависимость давления металла на валки P, момента прокатки M и удельного расхода энергии a от температуры при прокатке профиля резьбы червячной фрезы с модулем 2,75 *мм*. Валки имели $D_к$ = 270 *мм*, B = 90 *мм*, обжатие Δr = 0,12 *мм*. Материал заготовки — сталь 40Х

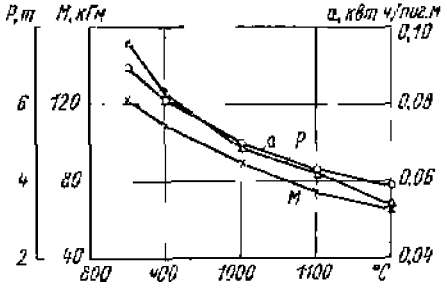


Таблица 15

Результаты измерения усилий, моментов и расхода электроэнергии

№ по пор.	Прокатываемое изделие	Материал заготовки (марка стали)	Температура в °С	Размеры проката вымого изделия в *мм*			Размеры валков в *мм*			Радиальное сближение Δr в *мм*	Число оборотов $n_в$ в минуту	Давление металла P в *т*	Крутящий момент M в *кГм*	Потребляемая мощность N в *квт*	Удельный расход электроэнергии a в $\frac{квт \cdot ч}{тон.м}$	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в $кГ/мм^2$	Коэффициент n_σ
				Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля	Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Ширина								
1	Круглая резьба 22×6	35	Холодная прокатка	22,0	18,0	6,0	200	196	60	0,101	24,5	16,9	146	6,4	0,073	219,7	7,3
2	То же	35	То же	21,9	17,9	6,0	200	196	60	0,101	24,5	16,1	142	6,2	0,069	209,3	6,6
3	»	35	»	22,0	18,0	6,0	200	196	60	0,101	24,5	18,4	147	7,6	0,085	239,2	7,9
4	Скругленная резьба 36×6	45	»	35,9	29,0	6,0	188	181	70	0,101	19,5	18,4	149	7,7	0,0245	164,5	4,8
5	То же	45	»	35,9	29,0	6,0	188	181	70	0,101	19,5	18,5	148	7,7	0,0245	165,5	4,8
6	»	45	»	35,8	28,9	6,0	188	181	70	0,101	19,5	18,2	149	7,7	0,0245	163,6	4,8
7	Скругленная резьба 57×6	45	»	56,9	50,0	6,0	188	181	70	0,081	19,5	22,0	157	7,9	0,511	194,1	5,7
8	То же	45	»	56,9	50,0	6,0	188	181	70	0,081	19,5	23,4	164	8,9	0,581	203,4	5,8
9	»	45	»	56,9	50,0	6,0	188	181	70	0,081	19,5	23,1	164	8,5	0,558	200,8	5,7
10	Трапецеидальная резьба 36×6	45	»	35,9	28,8	6,0	180	172,5	70	0,050	15,5	15,7	124	4,5	0,329	197,1	5,8
11	То же	45	»	35,9	28,8	6,0	180	172,5	70	0,050	15,5	14,1	115	4,2	0,307	184,7	5,4
12	»	45	»	35,9	28,8	6,0	180	172,5	70	0,050	15,5	13,6	112	4,2	0,307	178,2	5,2
13	Трапецеидальная резьба 57×(2×6)	45	»	56,9	49,9	6,0	180	172,5	70	0,111	16,0	22,5	182	7,1	0,506	176,0	5,1
14	То же	45	»	56,9	49,9	6,0	180	172,5	70	0,111	16,0	23,0	187	7,5	0,534	174,2	5,1
15	»	45	»	56,9	49,9	6,0	180	172,5	70	0,111	16,0	22,8	184	7,2	0,513	178,4	5,2

Продолжение табл. 15

№ по пор.	Прокатываемое изделие	Материал заготовки (марка стали)	Температура в °С	Размеры прокатываемого изделия в мм			Размеры валков в мм			Радиальное единичное обжатие Δr в мм	Число оборотов $n_в$ в минуту	Давление металла P в $т$	Крутящий момент M в $кГм$	Потребляемая мощность N в $квт$	Удельный расход электроэнергии a в $\frac{квт \cdot ч}{пог.\ м}$	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в $кГ/мм^2$	Коэффициент n_σ
				Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля	Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Ширина								
16	Трапецеидальная резьба 52×(2×8)	45	Холодная прокатка	52,0	43,0	8,0	194	184,5	70	0,092	20,5	25,9	205	10,8	0,491	207,6	6,1
17	То же	45	То же	52,0	43,0	8,0	194	184,5	70	0,092	20,5	24,4	201	10,8	0,491	200,9	5,9
18	»	45	»	52,0	43,0	8,0	194	184,5	70	0,092	20,5	25,6	204	10,8	0,491	204,8	6,0
19	Трапецеидальная резьба 52×(2×8)	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	11,6	22,9	157	7,0	0,695	176,1	5,1
20	То же	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	11,3	22,0	166	7,0	0,721	169,2	4,9
21	»	15	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	11,6	22,4	179	7,0	0,695	172,3	5,0
22	»	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	22,7	21,9	165	13,2	0,667	162,5	4,7
23	»	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	22,9	21,0	161	13,3	0,672	171,5	5,0
24	»	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	23,0	21,1	166	13,0	0,586	180,3	5,2
25	»	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	29,7	22,5	161	18,3	0,716	173,0	5,0
26	»	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	29,7	22,6	160	18,3	0,615	173,8	5,1
27	»	45	»	51,9	42,9	8,0	190	180,5	75	0,112	34,9	23,6	176	18,7	0,824	181,5	5,3
28	Трапецеидальная резьба 52×8	45	»	51,8	42,8	8,0	190	180,5	75	0,189	24,9	21,4	208	17,4	0,484	144,6	4,2
29	То же	45	»	51,8	42,8	8,0	190	180,5	75	0,189	25,1	21,9	212	17,8	0,495	147,9	4,6
30	»	45	»	51,8	42,8	8,0	190	180,5	75	0,189	25,4	23,1	221	17,8	0,485	152,9	4,5

Продолжение табл. 15

№ по пор	Прокатываемое изделие	Материал заготовки (марка стали)	Температура в °С	Размеры прокатываемого изделия в *мм*: Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля	Размеры валков в *мм*: Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Ширина	Радиальное единичное обжатие Δr в *мм*	Число оборотов $n_в$ в минуту	Давление металла P в *т*	Крутящий момент M в *кг/м*	Потребляемая мощность N в *квт*	Удельный расход электроэнергии a в $\frac{квт\ ч}{пос.\ м}$	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в *кГ/мм²*	Коэффициент n_c
31	Трапецеидальная резьба 65×10	50	Холодная прокатка	64,9	54,9	10,0	200	189,5	70	0,067	16,0	22,8	185	6,5	0,900	180,9	5,1
32	То же	50	То же	64,9	54,9	10,0	200	189,5	70	0,067	15,0	22,0	175	6,5	0,904	177,4	5,0
33	»	50	»	64,9	54,9	10,0	200	189,5	70	0,067	22,0	22,6	182	9,9	1,018	179,3	5,1
34	Трапецеидальная резьба 36×6	30	1000	36,0	29,0	6,0	196	189,5	72	0,14	23,0	4,1	83	4,9	0,098	45,1	5,2
35	То же	30	1050	36,0	29,0	6,0	196	189,5	72	0,14	52,2	3,6	68	9,2	0,081	38,7	4,2
36	»	30	1100	36,0	29,0	6,0	196	189,5	72	0,14	76,0	3,1	62	12,5	0,076	33,3	4,0
37	Червяк с модулем 5 *мм*	35	1100	60,0	40,0	15,0	220	199	145	0,26	25,0	13,3	195	14,7	0,265	33,8	5,2
38	То же	35	1100	60,0	40,0	15,0	220	199	145	0,26	25,0	12,4	187	14,6	0,262	31,5	4,6
39	»	35	1100	60,0	40,0	15,0	220	199	145	0,26	25,0	13,7	201	14,7	0,265	34,8	5,3
40	Круглая резьба 94×20	45	1000	94,0	73,0	20,0	192	172	122	0,28	50,0	12,6	248	17,8	0,272	34,4	4,2
41	То же	45	1000	93,8	73,3	20,0	192	172	122	0,28	50,0	11,8	213	15,3	0,233	32,2	3,9
42	»	45	1000	93,8	73,2	20,0	192	172	122	0,28	50,3	12,0	248	15,8	0,241	32,7	4,0
43	Червячная фреза с модулем 1 *мм*	Р18	1100	64,0	59,0	3,2	270	265	35	0,04	57,7	2,3	22	2,9	0,076	62,2	7,2

Продолжение табл. 15

№ по пор.	Прокатываемое изделие	Материал заготовки (марка стали)	Температура в °С	Размеры прокатываемого изделия в *мм*: Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля	Размеры валков в *мм*: Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Ширина	Радиальное единичное обжатие Δr в *мм*	Число оборотов $n_в$ в минуту	Давление металла P в *т*	Крутящий момент M в *кГм*	Потребляемая мощность Λ в *квт*	Удельный расход электроэнергии a в $\frac{квт \cdot ч}{пог. м}$	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в *кГ/мм²*	Коэффициент $n_б$
44	Червячная фреза с модулем 1 *мм*	Р18	1100	64.0	58,9	3,2	270	265	35	0,04	57,7	2,4	31	2,6	0,068	64,8	7.6
45	То же	Р18	1100	64,0	59,0	3,2	270	265	35	0,04	57,7	2,5	22	2.9	0,076	67,6	8,0
46	Червячная фреза с модулем 2 *мм*	Р18	1100	71,7	61.7	6,3	270	260	70	0,08	56,6	4,9	46	4,7	0,070	52,1	6,1
47	То же	Р18	1100	71,8	61,8	6,3	270	260	70	0,08	56,5	5,3	65	4,4	0,066	56,3	6,4
48	»	Р18	1100	71,7	61,7	6,3	270	260	70	0,08	56,5	5,4	65	4,7	0,070	57,4	6,7
49	Червячная фреза с модулем 2,75 *мм*	Р18	1100	81,6	67,4	8,6	270	256,2	90	0,12	56,6	8,1	106	6,9	0,077	55,3	6.5
50	То же	Р18	1100	81,9	67,5	8,6	270	256,2	90	0,12	56,6	8,2	106	7,1	0,090	56,0	6,5
51	»	Р18	1100	81,6	67,4	8,6	270	256,2	90	0,12	56,6	8,0	106	6,8	0,086	54,6	6,4
52	Червячная фреза с модулем 4 *мм*	Р18	1100	102,9	82,9	12,5	275	255	95	0,24	53,2	10,4	264	16,6	0,206	55,0	6,4
53	То же	Р18	1100	103,2	83,2	12,5	275	255	95	0,24	52,8	10,3	264	16,8	0,212	54,5	6,7
54	»	Р18	1100	103,7	83,1	12,5	275	255	95	0,24	53,4	10,9	300	17,1	0,212	57,5	6,6
55	Червячная фреза с модулем 5 *мм*	Р18	1100	114,3	89.3	15,6	275	250	120	0,27	56,0	13,4	274	21,4	0,235	44,6	5.2

Продолжение табл. 15

№ по пор.	Прокатываемое изделие	Материал заготовки (марка стали)	Температура в °С	Размеры прокатываемого изделия в мм			Размеры валков в мм			Радиальное единичное обжатие Δr в мм	Число оборотов $n_в$ в минуту	Давление металла P в $т$	Крутящий момент M в $кГ \cdot м$	Потребляемая мощность N в $квт$	Удельный расход электроэнергии a в $\frac{квт \cdot ч}{тн \cdot м}$	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в $кг/мм^2$	Коэффициент n_σ
				Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля	Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Ширина								
56	Червячная фреза с модулем 5 мм	Р18	1100	114,5	89,5	15,6	275	250	120	0,27	56,0	13,7	320	21,1	0,231	45,6	5,3
57	То же	Р18	1100	114,8	89,6	15,6	275	250	120	0,27	56,6	13,8	365	21,4	0,235	46,0	5,4
58	Червячная фреза с модулем 6 мм	Р18	1100	126,6	96,6	18,7	275	245	135	0,34	54,6	17,7	457	33,6	0,382	44,2	5,2
59	То же	Р18	1100	126,6	96,4	18,7	275	245	135	0,34	54,6	17,0	411	33,3	0,378	42,5	5,0
60	»	Р18	1100	127,0	98,6	18,7	275	245	135	0,34	54,6	17,5	457	33,4	0,379	43,7	5,1
61	Червячная фреза с модулем 7 мм	Р18	1100	128,0	92,0	21,8	275	240	150	0,41	55,0	22,5	515	48,6	0,446	40,9	4,8
62	То же	Р18	1100	127,5	92,9	21,8	275	240	150	0,41	55,0	21,7	557	45,6	0,418	39,4	4,1
63	»	Р18	1100	127,0	92,2	21,8	275	240	150	0,41	55,0	21,8	474	45,9	0,421	39,6	4,1
64	»	1045	1100	126,2	92,6	21,8	275	240	150	0,41	56,0	13,9	251	23,3	0,210	25,2	4,2
65	»	1045	1100	127,0	91,6	21,8	275	240	150	0,41	56,0	13,1	245	23,5	0,212	23,8	3,9
66	»	1045	1100	127,0	92,2	21,8	275	240	150	0,41	56,0	13,3	256	23,7	0,214	24,1	4,0
67	Червячная фреза с модулем 8 мм	Р18	1100	140,2	101,2	25,1	275	235	165	0,45	54,5	26,2	644	61,9	0,671	40,3	4,7
68	То же	Р18	1100	139,9	100,8	25,1	275	235	165	0,45	54,6	27,5	647	62,4	0,677	42,3	4,9
69	»	Р18	1100	139,8	100,7	25,1	275	235	165	0,45	54,5	26,9	602	61,9	0,672	41,3	4,8

Таблица 16

Удельный расход электроэнергии

Прокатываемое изделие	Материал (марка стали)	Удельный расход электроэнергии в *квт ч/пог. м*		Прокатка
		Прокатка	Резание	
Круглая резьба 22 × 6	35	0,08	0,41	Холодная
Трапецеидальная резьба 36 × 6	45	0,32	0,63	»
То же 57 (2 × 6)	45	0,53	1,57	»
» 52 × (2 × 8)	45	0,49	1,61	»
» 65 10	50	0,91	3,29	»
Червяк с модулем 5 *мм* ⌀ 90 *мм*	35	0,26	4,21	Горячая, при 1100° С
Круглая резьба 94 × 20	45	0,25	5,8	То же
Червячная фреза с модулем 5 *мм*	Р18	0,23	6,5	Горячая, при 1150° С

С учетом нагрева заготовок удельный расход электроэнергии при прокатке меньше в 1—1,5 раза, чем при резьбонарезании.

С применением технологической смазки валков при прокатке уменьшается давление металла на валки, момент прокатки и удельный расход электроэнергии.

Двусторонняя симметричная развалка винтовых калибров на заборном конусе валков при прокатке изделий с винтовой поверхностью уменьшает давление металла на валки и крутящие моменты. Это объясняется тем, что с введением развалки винтовых калибров на заборном конусе валков уменьшается контактная площадь соприкосновения металла с валками.

Так, например, при холодной прокатке полукруглого профиля резьбы винта качения 45 × 8,4 на заготовках из стали 45 с радиальным единичным обжатием $\Delta r = 0{,}13$ *мм* валками (см. рис. 21) без развалки винтовых калибров на заборном конусе крутящий момент не превышал 300 *кГм*, а давление металла на валки составляло 26—29 *т*.

При прокатке той же резьбы с тем же единичным радиальным обжатием и на тех же заготовках валками с двусторонней симметричной развалкой винтовых калибров на заборном конусе с приращением $\Delta t = \pm 0{,}30$ *мм* максимальный крутящий момент составлял 175 *кГм*, а давление металла на валки не превышало 19 *т*. Как видно из приведенных выше результатов, давление металла на валки и крутящий момент значительно уменьшаются при двусторонней симметричной развалке винтовых калибров на заборном конусе валков.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Среднее удельное давление зависит в основном от механических свойств прокатываемого металла, характера напряженного состояния, температуры, скорости деформации и упрочнения металла в результате наклепа при обработке в холодном состоянии.

В общем виде среднее давление $P_{ср}$ может быть выражено следующим уравнением:

$$P_{ср} = n_\sigma n_v n_н \sigma_т, \qquad (92)$$

где n_σ — коэффициент напряженного состояния металла;

n_v — коэффициент, учитывающий влияние скорости деформации;

$n_н$ — коэффициент наклепа, учитывающий повышение предела текучести при прокатке, вследствие упрочнения прокатываемого металла;

$\sigma_т$ — предел текучести.

В настоящее время наиболее научно обоснованной является разработанная А. И. Целиковым [18] теория распределения удельного давления при продольной прокатке. Непосредственное применение имеющихся выводов для поперечной прокатки, по-видимому, невозможно главным образом вследствие различного характера напряженного состояния граничных с очагом деформации объемов металла.

При поперечновинтовой прокатке изделий с винтовой поверхностью деформации подвергается сравнительно ограниченный объем металла, находящийся непосредственно в зоне деформации. Остальной объем металла заготовки не подвергается пластической деформации. Боковые грани калибров валка оказывают сопротивление осевому течению металла, находящемуся в зоне деформации. Вследствие этого напряженное состояние металла в зоне деформации приближается к состоянию равномерного всестороннего сжатия, при котором главные напряжения имеют небольшую разность. Условия деформации металла на зубе и во впадине прокатываемого профиля различны. Видимо и среднее удельное давление в этих местах тоже различное.

Теоретическое определение удельных давлений при поперечной прокатке является сложной задачей, не получившей еще своего разрешения.

Для определения среднего удельного давления вычисляли контактную площадь по формулам (80) и (81). Ширину контактной поверхности при горячей и холодной прокатке определяли по формулам (89) и (91).

Среднее удельное давление определяли путем деления величины давления металла на валки на величину контактной площади.

При прокатке с обжатием наружного диаметра прокатываемой резьбы среднее удельное давление в 1,2—1,4 раза больше, чем при прокатке без обжатия наружного диаметра прокатываемой резьбы

(см. № 1—6 табл. 15). Из данных табл. 15 следует, что при горячей прокатке величина $P_{ср}$ зависит от окружной скорости вращения валков. Например, при увеличении окружной скорости v с 14 до 56 *м/мин* (см. № 34—36) значение $P_{ср}$ уменьшается приблизительно в 1,4 раза. Это явление может быть объяснено различными условиями теплоотдачи на контакте металла с валками вследствие изменения продолжительности прокатки.

Для снижения величины $P_{ср}$, а следовательно, и для уменьшения износа калибров валков горячую прокатку крупных резьб целесообразно производить с окружными скоростями валков не менее 30—50 *м/мин*.

Для проверки экспериментальных данных определяли коэффициент напряженного состояния металла n_σ (отношение среднего удельного давления $P_{ср}$ к коэффициенту сопротивления прокатываемого металла k_f).

Для горячей прокатки резьбы на заготовках из малоуглеродистых сталей величина k_f определялась в зависимости от скорости деформации по диаграммам, построенным на основании опытов Надаи и Миньона [18].

Среднее значение скорости деформации определялось по формуле

$$u_{ср} \approx \frac{v}{r_{ср}} \sqrt{\frac{2\Delta r}{r_{ср}}}, \qquad (93)$$

где v — окружная скорость валков;

$r_{ср}$ — средний радиус прокатываемого профиля;

Δr — единичное радиальное обжатие.

При горячей прокатке заготовок из быстрорежущей стали Р18 величина k_f определялась в зависимости предела прочности от температуры по кривым Вацкого и Францевича [22].

При холодной прокатке значения коэффициентов n_σ определялись путем деления величины среднего удельного давления на предел текучести металла в исходном состоянии $\sigma_т$. Коэффициенты, подсчитанные таким образом, учитывают влияние вида напряженного состояния, и в случае холодной прокатки учитывают также наклеп металла.

Действительная величина удельного давления при прокатке резьбы червячной фрезы с модулем 2,75 *мм* измерялась месдозой, штифт которой (диаметром 2 *мм*) был вмонтирован в конце заборной части валка. Датчиками служили проволочные электротензометры с базой 10 *мм*. Схема установки месдозы в корпусе валка, расположение штифта и приспособление для тарировки месдозы приведены на рис. 79. Прокатка производилась валками, имеющими размеры $D_к = 270$ *мм*, $D_{вн} = 256{,}3$ *мм* и ширину $B = 90$ *мм*.

Результаты обработки осциллограмм, снятых при прокатке, показывают (табл. 17), что с увеличением радиального единичного обжатия от 0,12 до 0,35 *мм* среднее удельное давление, приходя

Таблица 17

Результаты измерения усилий, моментов, удельного расхода электроэнергии и удельного давления на стержень месдозы

№ по пор.	Прокатываемое изделие	Марка стали заготовки	Температура прокатки в °С	Размеры прокатываемого изделия в *мм*			Радиальное обжатие Δr в *мм*	Число оборотов валков $n_в$ в минуту	Давление металла на валки P в *т*	Крутящий момент M в *кГм*	Потребляемая мощность N в *квт*	Удельный расход электроэнергии a в *квт-ч/кг-м*	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в *кГ/мм²*	Удельное давление на стержень месдозы в *кГ/мм²*
				Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля s								
1	Червячная фреза с модулем 2,75 *мм*	Р18	1150	81,6	67,4	8,6	0,12	56,6	7,9	103	6,8	0,086	49,3	59,6
2	То же	Р18	1150	81,9	67,5	8,6	0,12	56,6	8,0	106	6,9	0,077	50,0	61,5
3	»	Р18	1150	81,6	67,4	8,6	0,12	56,6	8,1	111	7,1	0,090	50,6	62,4
4	»	Р9	1150	81,0	67,0	8,6	0,12	56,5	4,9	78	3,6	0,046	30,6	39,8
5	»	Р9	1150	81,5	67,3	8,6	0,12	57,1	5,0	80	3,8	0,048	31,2	40,7
6	»	Р9	1150	81,2	67,2	8,6	0,12	57,1	5,4	88	4,3	0,054	33,6	46,1
7	»	45	1150	81,8	67,2	8,6	0,12	57,0	3,6	60	3,3	0,041	22,5	27,0
8	»	45	1150	81,6	67,2	8,6	0,12	57,3	3,7	62	3,5	0,044	23,1	29,7
9	»	45	1150	81,5	67,3	8,6	0,12	57,1	3,8	63	3,9	0,049	23,7	30,6
10	Двухзаходная червячная фреза с модулем 2,75 *мм*	45	1150	82,0	67,8	8,6	0,35	56,7	5,9	79	5,9	0,025	23,6	35,7
11	То же	45	1150	81,8	67,8	8,6	0,35	56,7	5,7	81	5,2	0,029	22,8	35,3
12	»	45	1150	81,8	67,6	8,6	0,35	56,7	6,0	85	5,8	0,024	24,0	35,9
13	Кольцевая рейка с модулем 2,75 *мм*	45	1150	81,5	67,3	8,6	0,04	56,1	2,2	47	3,6	0,120	22,0	22,4
14	То же	45	1150	81,5	67,3	8,6	0,04	57,1	2,1	45	3,3	0,110	21,0	21,6

Продолжение табл. 17

№ по пор.	Прокатываемое изделие	Марка стали заготовки	Температура прокатки в °С	Размеры прокатываемого изделия в мм			Радиальное единичное обжатие Δr в мм	Число оборотов валков $n_в$ в минуту	Давление металла на валки P в т	Крутящий момент M в кгм	Потребляемая мощность N в квт	Удельный расход электроэнергии a в квт·ч/тонна	Среднее удельное давление $P_{ср}$ в кг/мм²	Удельное давление на стержневых зубьях в кг/мм²
				Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Шаг профиля								
15	Кольцевая рейка с модулем 2,75 мм	45	1150	81,5	67,3	8,6	0,04	57,1	2,4	51	3,7	0,125	24,0	23,4
16	Червячная фреза с модулем 2,75 мм	40Х	1200	81,0	67,2	8,6	0,12	57,1	3,8	65	4,2	0,052	32,7	25,2
17	То же	40Х	1200	80,7	66,7	8,6	0,12	57,1	3,9	68	4,4	0,054	24,3	24,3
18	»	40Х	1200	81,0	68,0	8,6	0,12	57,1	4,0	71	4,5	0,055	25,0	26,1
19	»	40Х	1100	80,9	67,7	8,6	0,12	57,1	4,3	75	5,0	0,063	26,8	29,7
20	»	40Х	1100	80,8	67,6	8,6	0,12	57,1	4,2	72	4,9	0,061	26,3	27,9
21	Червячная фреза с модулем 2,75 мм	40Х	1100	80,8	67,8	8,6	0,12	57,1	4,4	77	5,1	0,065	27,5	30,6
22	То же	40Х	1000	80,6	67,8	8,6	0,12	57,1	5,1	89	5,6	0,070	31,8	37,0
23	»	40Х	1000	81,0	67,0	8,6	0,12	57,1	4,9	85	5,4	0,068	30,6	35,3
24	»	40Х	1000	79,9	66,7	8,6	0,12	57,1	5,3	93	5,7	0,071	33,1	36,9
25	»	40Х	900	80,2	67,6	8,6	0,12	57,1	5,9	105	6,2	0,078	36,8	46,7
26	»	40Х	900	80,2	67,8	8,6	0,12	57,1	6,1	107	6,5	0,082	38,1	47,2
27	»	40Х	900	80,2	67,2	8,6	0,12	57,1	6,3	112	6,8	0,085	39,3	48,4
28	»	40Х	850	80,2	67,6	8,6	0,12	57,1	6,8	121	7,1	0,089	42,5	52,8
29	»	40Х	850	80,2	67,6	8,6	0,12	57,1	7,2	124	7,5	0,094	45,6	55,7

щееся на торец штифта месдозы, увеличивается от 21,6 до 35,9 *кГ/мм*² (№ 7—19 табл. 17).

С понижением температуры прокатки с 1200 до 850° С среднее удельное давление на торец штифта месдозы возросло приблизительно в 2,2 раза (№ 16—29 табл. 17).

При прокатке заготовок из стали Р18 среднее удельное давление приблизительно в 2 раза больше, чем при прокатке заготовок из стали 45 и 1,2—1,4 раза больше чем при прокатке из стали Р9 (№ 1—9 табл. 17).

Сопоставляя значения среднего удельного давления, видим, что значения, полученные экспериментальным путем, приблизительно в 1,1—1,4 раза больше, чем значения, полученные аналитическим путем. Для практических расчетов при рекомендуемых режимах прокатки коэффициент n_σ следует брать равным 5—8 при холодной прокатке и 3—6 при горячей прокатке. Бо́льшие значения коэффициента соответствуют меньшим величинам единичного радиального обжатия и наоборот.

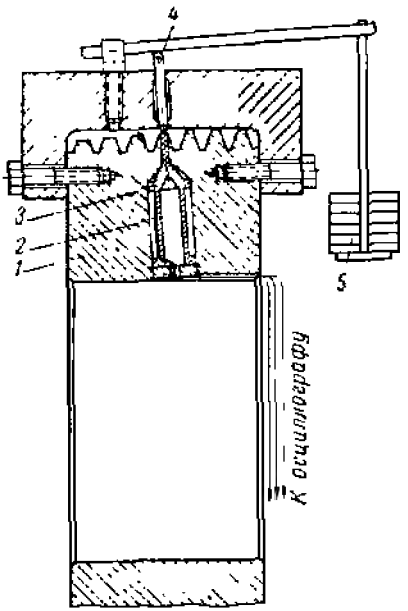


Рис. 79. Схема установки месдозы в корпусе валка и приспособления для тарировки месдозы:

1 — валок; *2* — датчики; *3* — месдоза; *4* — тарировочное приспособление; *5* — груз

Экспериментальные данные, помещенные в настоящей работе, могут быть полезны при расчетах вновь проектируемых станов, для разработки и проверки теоретических методом расчета и для анализа среднего удельного давления при поперечной прокатке.

ГЛАВА VI

ПРОКАТКА ЧЕРВЯКОВ

1. СХЕМА ПРОКАТКИ И КОНСТРУКЦИЯ ВАЛКОВ

В современном машиностроении применяется большое количество червячных валов. По своей конструкции они подразделяются на валы, у которых: 1) диаметр прилегающих шеек больше внутреннего диаметра червяка; 2) диаметр прилегающих шеек вала меньше внутреннего диаметра червяка; 3) червяк изготовляется полым без прилегающих шеек вала.

Все эти червяки целесообразно изготовлять способом прокатки.

Наиболее удобны для прокатки полые червяки и червяки, у которых диаметр прилегающих шеек вала меньше внутреннего диаметра профиля червяка. Эти червяки целесообразно изготовлять способом поперечновинтовой прокатки со «сквозной подачей». В этом случае для полых червяков прокатывают сплошную заготовку на несколько червяков. Затем в ней просверливают отверстие для вала, и червяк, отделенный от остальной заготовки на автоматическом станке, крепят к валу, на котором он будет работать, с помощью шпонок или каким-либо другим способом. В этом случае при механической обработке отверстия червяка за базу принимают прокатанный профиль червяка.

Червяки, у которых диаметр прилегающих шеек вала меньше внутреннего диаметра профиля червяка, целесообразно прокатывать на заготовках с предварительно откованными шейками вала.

Применение таких заготовок уменьшает механическую обработку шеек вала и расход электроэнергии при прокатке.

Полые червяки и червяки, у которых диаметр прилегающих шеек вала меньше внутреннего диаметра профиля червяка, применяются сравнительно в небольшом количестве.

В редукторостроении применяются червяки, у которых диаметр прилегающих шеек вала больше внутреннего диаметра профиля червяка. Наличие прилегающих шеек вала, диаметр которых больше внутреннего диаметра профиля червяка, и сравнительно короткая длина червяка не дают возможности применять способ поперечновинтовой прокатки «со сквозной подачей». Конструк-

тивно изменить эти червяки также не представляется возможным, так как при увеличении диаметров профиля червяков снижается коэффициент полезного действия и увеличивается вес редуктора, а при уменьшении подшипниковых шеек снижается долговечность подшипников.

ВНИИМетмаш разработал способ поперечной прокатки таких червяков. Схема процесса прокатки приведена на рис. 80.

Процесс прокатки червяков ведется последовательно с радиальным сближением трех валков при параллельных осях, реверсированием их вращения при непрерывном осевом перемещении заготовки в ту или иную сторону на заданную длину.

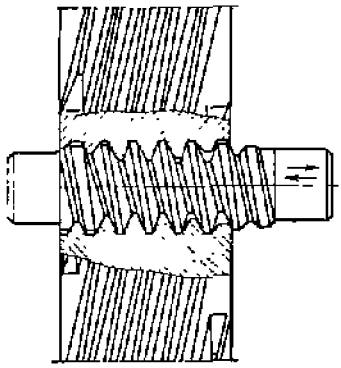


Рис. 80 Схема процесса поперечной прокатки червяков

Прокатку червяков можно осуществить как при двухвалковой, так и при трехвалковой схеме прокатки. При выборе схемы прокатки червяков необходимо учитывать, что при прокатке однозаходных червяков двумя валками усилия прокатки на концах прокатываемого червяка не уравновешены от одного валка к другому и стремятся согнуть прокатываемый червяк. То же самое происходит, хотя и в меньшей степени, при прокатке трехзаходных червяков. Когда неуравновешенное давление валков при прокатке однозаходных червяков превышает предел упругости, то происходит изгиб червяка или смещение его профиля. В этом случае между шейками вала и червячным профилем наблюдается эксцентричность.

Двухзаходные и четырехзаходные червяки более успешно прокатываются при большей величине единичных радиальных обжатий, чем однозаходные или трехзаходные червяки. Это происходит потому, что усилия деформации, производимые валками двухвалкового стана, одинаковы и диаметрально противоположно направлены друг к другу и поэтому всегда находятся в равновесии.

При трехвалковой схеме прокатки трехзаходных и шестизаходных червяков изгиба оси не наблюдается. При прокатке однозаходных, двухзаходных и четырехзаходных червяков изгиб оси значительно меньше, чем при двухвалковой схеме прокатки.

Условия для появления рыхлости или вскрытия полости в центральной зоне прокатываемого червяка при трехвалковой схеме прокатки значительно хуже. Это преимущество трехвалковой схемы прокатки по сравнению с двухвалковой имеет большое значение при горячей прокатке червяков большого модуля (6—8 *мм*).

Валки (рис. 81) для прокатки червяков состоят из средней цилиндрической части и крайних конических участков одинаковой длины с многозаходными винтовыми калибрами.

Размеры валков приведены в табл. 18. Направление калибров — противоположное направлению профиля прокатываемого червяка.

Число винтовых калибров на валках назначается из условия совпадения углов подъема винтовых калибров на валке и прокаты-

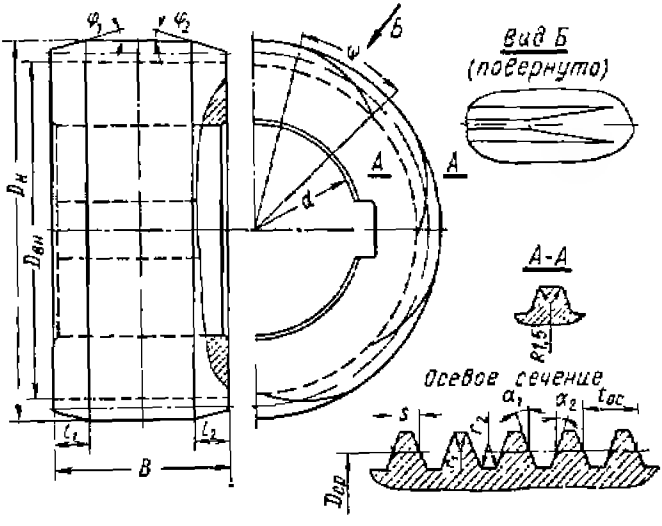


Рис. 81. Валки для поперечной прокатки червяков

ваемом профиле червяка, что приводит к соотношению, называемому условием кратности

$$\frac{D_к}{d_к} = \frac{k}{z}, \qquad (94)$$

где $D_к$ — катающий диаметр валка;

$d_к$ — катающий диаметр профиля прокатываемого червяка;

k и z — число заходов калибров на валке и прокатываемом профиле червяка.

Для практических расчетов, без больших погрешностей, можно принять, что катающий диаметр проходит по середине высоты прокатываемого профиля. При таком допущении катающий диаметр червяка

$$d_к = d_{вн} + h$$

и катающий диаметр валка

$$D_к = D_н - h,$$

где $d_{вн}$ — внутренний диаметр прокатываемого профиля червяка;

h — высота прокатываемого профиля червяка;

$D_к$ — наружный диаметр валков.

Катающие диаметры $D_к$ и $d_к$ в процессе прокатки все время изменяются. При калибровке прокатываемого профиля они имеют установившие величины.

Поскольку ширина валков короче длины прокатываемого профиля червяка, то условие кратности (94) подбирается таким образом, чтобы оно соблюдалось в середине прокатки, т. е. при формовании половины высоты профиля червяка. В этом случае осевое перемещение заготовки будет наибольшим в начале и конце прокатки. Осевое перемещение заготовки в конце прокатки дает возможность калибровать прокатанный профиль червяка. Для удержания заготовки между валками в осевом направлении последние реверсируются.

Длина цилиндрической калибрующей части валков должна быть не менее 2—2,5 шагов прокатываемого профиля червяка. Высота деформирующего зуба на концах валков конических участков должна быть несколько меньше, чем расстояние от поверхности заготовки до впадины профиля червяка.

Для облегчения условий работы конических участков

Таблица 18

Основные размеры валков в *мм* на трехвалковом стане для прокатки червяков

Модуль и число заходов прокатываемого червяка	Наружный диаметр $D_к$	Средний диаметр $D_{ср}$	Внутренний диаметр $D_{вн}$	Длина заборного конуса $l_1=l_4$	Угол заборного конуса в *град* $\varphi_1=\varphi_4$	Ширина валков B	Число заходов винтовых канавок k	Шаг калибров в осевом сечении t_{oc}	Толщина зуба в осевом сечении или средняя ширина витка s	Диаметр посадочного отверстия d	Радиус угла впадины канавок r_2	Радиус угла зуба r_1	Профильный угол в осевом сечении $\alpha_1=\alpha_2$	Угол зацепления заходов канавок φ в *град*
Модуль 3; z — 3	155	147,8	141,4	20	10	90	4	9,45	4,5	75	0,2	0,6	20°	30
Модуль 3; z — 3	155	147,8	141,4	20	10	90	12	9,45	4,5	75	0,2	0,6	20°	30
Модуль 3; z — 4	155	147,8	141,4	20	10	90	16	9,45	4,5	75	0,2	0,6	20°	30
Модуль 5; z — 2	216	204	194	20	15	120	8	15,95	7,2	120	0,2	1,0	20°	30
Модуль 6; z = 2	220	208	193,6	25	20	110	8	18,8	9,0	120	0,2	1,0	20°	30
Модуль 6; z = 3	220	208	193,6	25	20	110	12	18,8	9,0	120	0,2	1,0	20°	30
Модуль 8; z = 2	256	236,8	220,8	30	20	120	8	25,15	12,15	120	0,2	1,2	20°	30

валков производится двусторонняя симметричная развалка калибров (см. раздел 2 гл. III). Она увеличивает стойкость валков, высоту крайних витков профиля прокатываемого червяка и уменьшает изгиб и осевую вытяжку прокатываемого участка заготовки.

Заходы витков профиля валков затыловывают. Затыловка их производится по дуге, касательной к наружной окружности валка, причем радиус этой дуги таков, что у впадины или края валка затыловка захода витка не будет портить профиль. Затылованная часть захода витка профиля закругляется по максимально допустимому радиусу.

Скругленная форма затыловки заходов профиля обеспечивает плавный выход профиля червяка из калибров валка.

2. КОНСТРУКЦИЯ ЗАГОТОВКИ

На концах прокатанный червяк имеет участки с неполной высотой профиля (рис. 82). Длина этих участков равна длине конических участков валков. Поэтому при проектировании заготовки для прокатки червяков необходимо определять минимальную рабочую длину червяка с полной высотой профиля, которая должна быть

Рис. 82. Вид прокатанной заготовки для червяка с модулем 3 *мм*

прокатана. Она распределяется симметрично по обе стороны от рабочей оси, находящейся в зацеплении червячного колеса. К рабочей длине червяка прибавляются участки с неполной высотой профиля. Суммарная длина прокатываемого участка всегда должна быть меньше расстояния между буртами данной заготовки (рис. 82).

При проектировании длины заготовки необходимо также учитывать и осевую вытяжку прокатываемого участка заготовки.

Выбор диаметров заготовок для червяков при нарезании и прокатке ведется по разным методам. Если при нарезании диаметр проточенной заготовки берется равным наружному диаметру червяка, то при прокатке заготовка подбирается из условий формования полной высоты зуба профиля червяка.

При прокатке червяков без дальнейшей механической обработки по профилю формование зуба, близкого к полной высоте, будет в том случае, если диаметр заготовки равен среднему диаметру прокатываемого профиля, т. е.

$$d_з = \frac{d_н - d_{вн}}{2},$$

где $d_н$ — наружный диаметр прокатываемого профиля;
$d_{вн}$ — внутренний диаметр прокатываемого профиля.

При прокатке червяков с последующей механической обработкой профиля при определении диаметра заготовки необходимо учитывать величину припуска на механическую обработку и осевую вытяжку заготовки в процессе прокатки.

При выборе диаметра заготовки для горячей прокатки необходимо также учитывать изменение ее размеров при нагреве до 1050—1100° С. Так как заготовка нагревается т. в. ч. неравномерно по сечению, а только на глубину 2,5—3 модуля и имеется переходная зона температур, то аналитически величину изменения диаметра установить сложно. Практически диаметр заготовок под прокатку червяков определяется экспериментальным путем.

Диаметр заготовок для горячей прокатки червяков с модулем 3; 5; 6 и 8 *мм*, с припуском 0,2 *мм* на сторону зуба и 0,4 *мм* на наружный диаметр для последующей шлифовки приведен в табл. 19.

Таблица 19

Размеры диаметров прокатанного червяка и заготовки в *мм*

Модуль червяка	Диаметр прокатанного участка заготовки	Наружный диаметр прокатанного червяка	Внутренний диаметр прокатанного червяка	Осевая вытяжка прокатанного участка заготовки в %
3	$37{,}8^{+0{,}1}$	$42{,}8^{+0{,}2}$	$28{,}6^{+0{,}2}$	5—5,5
5	$54{,}0^{+0{,}1}$	$60{,}9^{\pm0{,}2}$	$37{,}8^{\pm0{,}2}$	7—7,5
6	$57{,}0^{+0{,}1}$	$66{,}4^{\pm0{,}2}$	$44{,}6^{\pm0{,}2}$	7,5—8
8	$67{,}0^{+0{,}1}$	$80{,}6^{\pm0{,}2}$	$44{,}6^{\pm0{,}2}$	8,5—9

С увеличением числа заходов прокатываемого червяка осевая вытяжка заготовки уменьшается. Вследствие этого диаметр заготовки под прокатку также уменьшается.

3. РЕЖИМЫ ПРОКАТКИ ЧЕРВЯКОВ

Нагрев заготовок под прокатку червяков осуществляется индукционным методом на частоте 2400 *гц*. Применяется кольцевой, многовитковый индуктор, который совместно с трансформатором ТВД-3 устанавливается на подвижной площадке, смонтированной на стане. Ширина индуктора равна длине прокатываемого участка заготовки. Для равномерного нагрева по длине нагреваемого участка заготовки последняя приводится во вращение. Нагрев заготовок из стали 45 производится до температуры 1150—1200° С.

Продолжительность нагрева их приведена в табл. 20.

Таблица 20

Данные о нагреве заготовок

Диаметр заготовки в *мм*	Длина нагреваемого участка в *мм*	Глубина нагреваемой заготовки в *мм*	Зазор между индуктором и заготовкой в *мм*	Продолжительность нагрева заготовки в *сек*	Количество преобразователей ВПЧ-100-2400, обеспечивающих нагрев
37,8	100	7,0	6	10	1
54,0	160	12	4	10	2
57,0	160	15	9	15	2
67,0	180	20	9	15	3

В начале прокатки температура заготовок составляет 1000—1050, в конце прокатки 800—850° С.

Оптимальная скорость вращения валков при горячей поперечной реверсивной прокатке крупных червяков из углеродистой стали находится в пределах 20—30 *об/мин*.

Однозаходные, трехзаходные и четырехзаходные червяки с модулем 3 *мм* прокатывают с одним реверсом вращения валков, двухзаходные червяки с модулем 5 *мм* и двухзаходные, трехзаходные червяки с модулем 6 *мм* — с тремя реверсами вращения валков, двухзаходные червяки с модулем 8 *мм* — при пяти реверсах вращения валков. Формование профиля червяка идет при значительном трении на соприкасающихся поверхностях металла заготовки и калибров валков.

Первостепенную роль при выборе режимов поперечной прокатки червяков играет скорость радиального сближения валков. При малых величинах радиального единичного обжатия 0,1—0,2 *мм* на периферийных участках зуба металл поднимается быстрее, чем в его центральном участке, что приводит к образованию впадин на вершине зуба червяка. С увеличением величины единичного радиального обжатия с 0,3 до 0,5 *мм* трение между металлом и валками возрастает, что в конечном итоге ведет к выравниванию скоростей течения металла на периферийных и центральных участках зуба. Увеличение величины радиального единичного обжатия *также способствует уменьшению осевой вытяжки* заготовки в процессе прокатки.

При поверхностном нагреве заготовок токами высокой частоты необходимо учитывать, что при медленном радиальном сближении валков в процессе прокатки происходит быстрое снижение температуры нагретой заготовки. Оно происходит за счет теплопередачи тепла валкам, окружающей атмосферы и тепла, уходящего к центральной части заготовки.

Оптимальное радиальное единичное обжатие при горячей прокатке червяков составляет 0,3—0,5 *мм*.

Для уменьшения трения между металлом заготовки и валками применяется технологическая их смазка. Состав технологической смазки приведен в разделе 2 гл. II.

Охлаждение валков производится технической водой, которая подается на валки с двух сторон автоматически одновременно с разведением их после каждой прокатанной заготовки.

4. КАЧЕСТВО И ТОЧНОСТЬ ПРОКАТАННЫХ ЧЕРВЯКОВ

При прокатке червяков происходит значительное изменение структуры наружного слоя металла заготовки. Структура получает волокнистое строение; волокна металла ориентированы по профилю червяка и сильно уплотнены во впадине (рис. 83).

При рекомендуемых режимах прокатки у прокатанных червяков не наблюдается дефектов в виде *плен, закатов и др.*

Рис. 83. Макрошлиф прокатанного червяка с модулем 3 *мм*

Появление дефектов в виде рыхлости или вскрытия полости в осевой зоне прокатываемого червяка возможно при нагреве заготовки под прокатку по всему ее сечению и дополнительном обжатии по диаметру заготовки с окончательно сформованным профилем. В этом случае резко повышается давление металла на валки и в отдельных случаях появляется рыхлость или вскрывается полость. Появлению рыхлости и вскрытию полости также способствуют увеличение радиальных единичных обжатий, повышение температуры нагрева заготовки под прокатку и увеличение ширины валков.

Двусторонняя симметричная развалка калибров на конических участках валков уменьшает возможность появления рыхлости или вскрытия полости.

При правильном ведении процесса напряжения в осевой зоне заготовки при горячей прокатке крупных червяков не настолько велики, чтобы вызвать появление дефектов в осевой зоне. При стабильном индукционном нагреве заготовок под прокатку точность прокатанных червяков высокая.

Колебание шага червяков не превышает 0,03 *мм* и колебание толщины зуба на делительном цилиндре червяка составляют не более 0,05 *мм*. Колебание внутреннего диаметра червяков не превышает 0,1 *мм* и наружного диаметра 0,4 *мм*.

При прокатке червяков происходит термоупрочнение металла по всему сечению профиля червяков. Это объясняется тем, что условия процесса прокатки червяков на стане очень сходны с условиями термомеханической обработки металлов.

Одновременно с охлаждением валков водой охлаждается и прокатанная заготовка. Таким образом происходит закалка после значительной деформации.

При прокатке червяков на заготовках из стали 45 твердость по всему сечению профиля червяков увеличивается на 40—45%.

Шероховатость поверхности прокатанного профиля червяков соответствует 6—7-му классу чистоты.

ГЛАВА VII

ПЕРВЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТАНЫ ДЛЯ ПРОКАТКИ ИЗДЕЛИЙ С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЦЕССА

Результаты проведенных исследований были использованы ВНИИМетмаш при проектировании промышленных станов для прокатки крупных резьб, заготовок червячных фрез и червяков, а также при освоении и внедрении процесса прокатки в промышленных условиях на нескольких машиностроительных заводах.

Все станы могут работать как на автоматическом, так и при ручном управлении. Техническая характеристика станов приведена в табл. 21.

1. СТАНЫ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ КРУПНЫХ РЕЗЬБ

Двухвалковый стан 2ХПВ-20 (рис. 84) усилием 20 *т* предназначен для холодной прокатки резьбы с крупным шагом на винтах без буртов, выступающих за пределы внутреннего диаметра резьбы. На стане нет устройства для механизированного разведения и сведения валков, которое необходимо при прокатке резьбы винтов с буртами.

Сведение и разведение валков в процессе настройки стана производится двумя нажимными винтами, имеющими ручной привод от штурвала посредством двух цилиндрических шестерен.

Угловая настройка валков производится поворотом кассет относительно оси расточки при помощи специальных болтов. Для повышения жесткости системы кассеты притягиваются к станине стяжными болтами.

Осевая настройка валков осуществляется сначала поворотом одного валка при помощи фрикционной муфты, а затем перемещением одного из валков в осевом направлении. После угловой и осевой настройки валки стопорятся.

Нижняя поддерживающая проводка жестко крепится на кронштейне, установленном на станине. Вертикальная регулировка проводки осуществляется прокладками. После установки на заданную высоту проводка крепится болтами со специальной планкой.

Таблица 21

Техническая характеристика станов

Параметры станов	Для холодной прокатки				Для горячей прокатки	
	Стан 2ХПВ-20	Стан 2ХПВ-25	Стан 2ХПВ-30	Стан 3ХПВ-30	Стан 3ГПФ-40	Стан 3ГПЧ-25
Количество валков	2	2	2	3	3	3
Диаметр валков в *мм* . . .	160—230	190—270	190 –285	170—220	250—300	150—250
Наибольшая ширина валков в *мм*	100	140	140	100	190	120
Диаметр прокатываемой резьбы в *мм*	20 100	30—150	30—150	36 80	50—180	24—90
Наибольшая длина прокатываемой резьбы в *мм*	1200	1000	1000	1900	800	150
Наибольший угол наклона осей валков в *град* .	7	7	7	5	5	—
Число оборотов валков в минуту	8 30	12—190	12—190	18 и 25	30 и 60	20—50
Наибольший крутящий момент на валке в *кГм*	300	400	400	350	500	400
Наибольшее давление металла на валок в *т* . . .	25	25	30	30	40	25
Мощность привода в *квт*	20/18/11	40	40	28/36	50/80	67
Вес стана в *т* . .	6,5	9,6	10,0	13,2	16,4	19
Габаритные размеры стана в *м*	4,6×2,7×1,5	4,7×2,7×1,9	3,2×3,5×1,9	6,5×2,3×2	6,8×2,3×2,4	7,5×3×2,5

Верхняя поддерживающая проводка крепится двумя откидными болтами к оправке, положение которой в вертикальной плоскости регулируется вручную при помощи винтового механизма. Верхняя проводка в установленном положении стопорится специальной гайкой. Верхняя и нижняя поддерживающие проводки могут быть быстро заменены без нарушения настройки валков.

Привод валков осуществляется от асинхронного электродвигателя А-82/8/6/4 через клиноременную передачу, комбинирован-

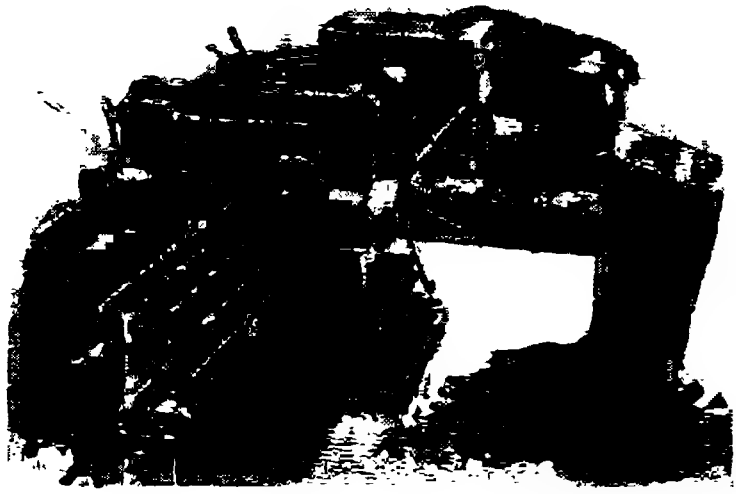


Рис. 84. Двухвалковый стан 2ХПВ-20 для холодной прокатки крупных резьб

ный редуктор и универсальные шпиндели. Регулирование скорости вращения валков — ступенчатое; производится оно как за счет изменения скорости электродвигателя, так и за счет изменения передаточного числа между электродвигателем и редуктором (перестановки шкивов клиноременной передачи).

Для охлаждения и технологической смазки заготовки валков и поддерживающих проводок в процессе прокатки на стане предусмотрена установка, подающая сульфофрезол или эмульсию в зону деформации металла.

Механизмы стана (рис. 85) при непрерывно-шучной прокатке резьбы винтов работают следующим образом.

При включении вентиля *1* шток пневмоцилиндра *5* передвигается влево. Толкатель *6*, связанный со штоком пневмоцилиндра, начинает перемещать заготовку по приемному желобу к вращающимся валкам. К моменту захвата заготовки валками шток пневмоцилиндра пойдет к своему крайнему положению, толкатель нажи-

мает на конечный выключатель *7*, при этом произойдет переключение вентилей: включается вентиль *2*, шток цилиндра начинает перемещаться вправо к исходному положению. При подходе к исходному положению толкатель нажимает на конечный выключатель *8* и на рычаг *9*, жестко соединенный с вертикальным валом *10*, который повернется на некоторый угол; при этом заготовка через систему рычагов *11*, *12* и *13* сбрасывается с наклонной решетки в приемный желоб *14* и занимает там исходное положение. При срабатывании конечного выключателя *8* включается реле времени. Реле времени настраивается так, что в момент сбрасывания заготовки в приемный желоб реле включает вентиль *1*, и шток вместе с толкателем снова начнет перемещать заготовку по направлению к валкам. При отходе толкателя рычаг под действием пружины *15* возвращается в исходное положение. Вместе с ними в исходное положение возвращается и система рычагов *11*, *12* и *13*.

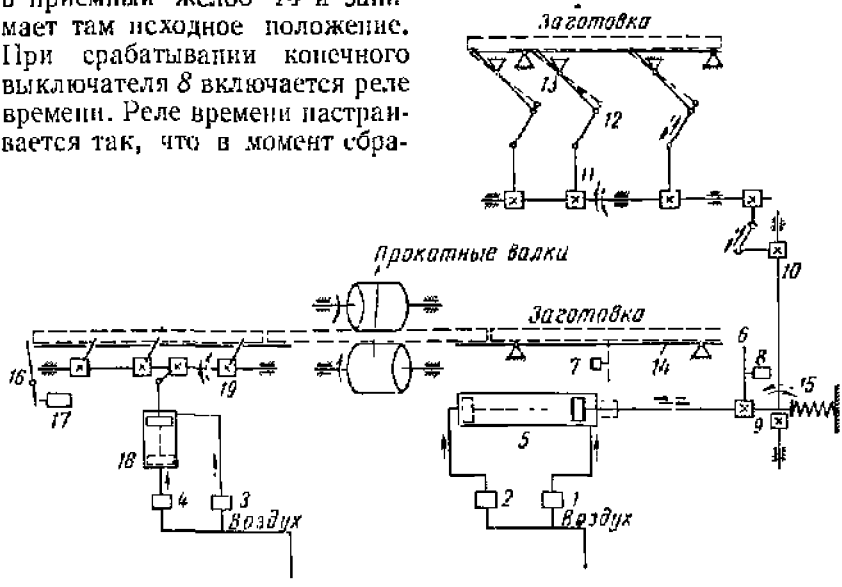


Рис. 85. Кинематическая схема двухвалкового стана 2ХПВ-20

При выходе из валков заготовка с прокатанной резьбой поступает в выходной желоб и, двигаясь по нему, своим концом нажимает на рычаг *16*, который включит конечный выключатель *17*. В это время включится вентиль *3*, и шток *18* начнет перемещаться вниз. Вместе с перемещением штока повернется на некоторый угол вал *19*. Установленные на этом валу рычаги повернутся и выбросят готовый винт из выходного желоба в короб. В момент срабатывания конечного выключателя *17* включается реле, выдержка которого настраивается так, что после сбрасывания винта оно включает вентиль *4*. При этом шток цилиндра *18* будет двигаться вверх. Когда сработает упомянутое реле и шток *18* цилиндра возвратится

в исходное верхнее положение, включается другое реле времени. Это реле отключит вентиль *4* и подготовит схему управления механизма выгрузки для сбрасывания очередной заготовки из выходного желоба.

Вспомогательное время при прокатке резьбы винтов на стане сведено к нулю.

Производительность стана при прокатке круглой резьбы 22 × 6 составляет 200—250 *пог.м* прокатанной резьбы в смену.

Двухвалковый стан 2ХПВ-25 (рис. 86) усилием 25 *т* предназначен для холодной прокатки крупной резьбы на винтах без буртов и с буртами, выступающими за пределы внутреннего диаметра резьбы [23]. В отличие от стана 2ХПВ-20 на этом стане сведение и разведение валков механизировано. Оно осуществляется

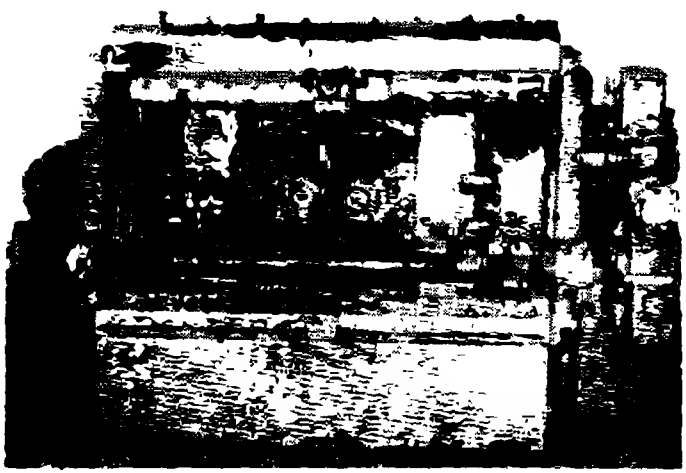


Рис. 86. Рабочая клеть двухвалкового стана 2ХПВ-25 для холодной прокатки крупных резьб

электродвигателем *15* (см. рис. 87) постоянного тока (ПН-100, 10 *квт*, 220 *в*, 1100 *об/мин*) через червячный редуктор *16* и подвижные каретки *17*, перемещающиеся двумя ходовыми винтами с упорной резьбой. При подходе кареток к упорам *18* конечный выключатель *19* переводит электродвигатель *15* на пониженные обороты. При разведении валков в крайнем положении конечный выключатель *20* выключает электродвигатель *15*.

Регулировка упоров кареток на заданный диаметр прокатываемой резьбы осуществляется при помощи разъемных колец и специальной развинчивающейся гайки.

Механизмы стана (рис. 87) при непрерывно-штучной прокатке резьбы винтов без буртов работают следующим образом.

Вращение валков *14* осуществляется электродвигателем *1* переменного тока (40 *квт*, 380 *в*, 970 *об/мин*) через клиноременную передачу *2*, комбинированный редуктор *3*, сменные шестерни *4* и универсальные шпиндели *5*. Заготовка задается в валки штоком гидроцилиндра, управляемого с помощью электромагнитов *6*, *7*, *8*. При захвате заготовки валками конечный выключатель *9* возвращает шток в исходное положение. При отходе в исходное поло-

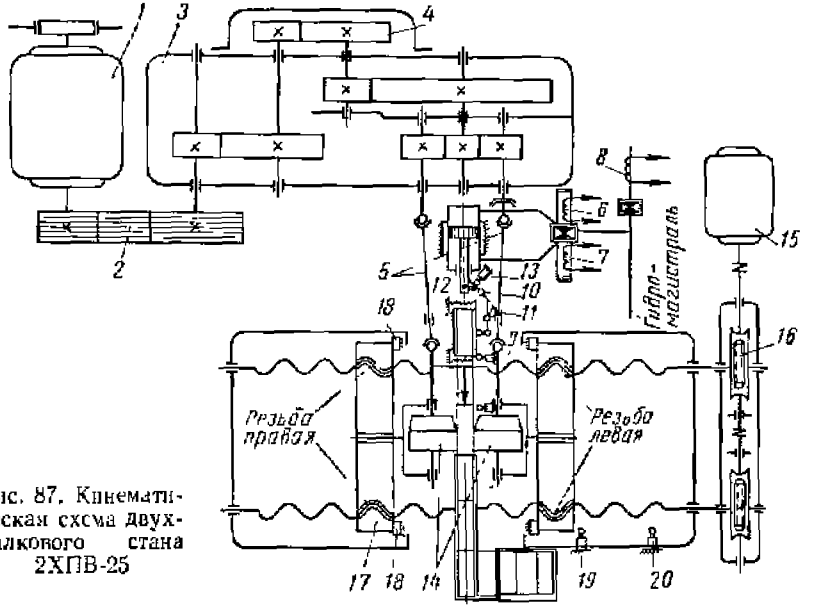


Рис. 87. Кинематическая схема двухвалкового стана 2ХПВ-25

жение шток гидроцилиндра нажимает на систему рычагов *10*, *11*, которые отжимают планку *12*, и очередная заготовка из бункера падает в желоб. После нажатия конечного выключателя *13* шток гидроцилиндра снова задает очередную заготовку в валки. На этом цикл прокатки резьбы одного винта заканчивается.

Вспомогательное время при непрерывно-штучной прокатке винтов на проход на стане сведено к нулю.

Производительность стана при прокатке трапецеидальной резьбы 36×6 составляет 150—180 *пог. м* прокатанной резьбы в смену.

Двухвалковый стан 2ХПВ-30 усилием 30 *т* предназначен для холодной прокатки крупной резьбы на винтах с буртами и без буртов. Конструкция стана ничем не отличается от конструкции стана 2ХПВ-25.

Механизмы стана (рис. 88) при прокатке резьбы на винтах с буртами работают следующим образом.

Вращение рабочим валкам *19* передается от электродвигателя А-82-6 переменного тока *1* (40 *квт*, 380 *в*, 970 *об/мин*) через клино-

ременную передачу *5*, комбинированный редуктор *3*, сменные шестерни *4* и универсальные шпиндели *6*.

Заготовка подается в валки штоком гидроцилиндра *13*, управляемого с помощью электромагнитов *7*, *8*, *9*. Конечный выключатель *10* при захвате заготовки валками понижает скорость хода штока, а конечный выключатель *11* при захвате заготовки валками останавливает шток. Конечные выключатели *10* и *11* устанавливаются на определенном расстоянии для каждого типа прокатываемого винта. После прокатки резьбы на заданную длину конечный выключатель *12* выключает электродвигатель *1* и включает тормоз *2*. Кроме этого, конечный выключатель *12* включает электродвигатель постоянного тока *14* механизма сведения и разведения

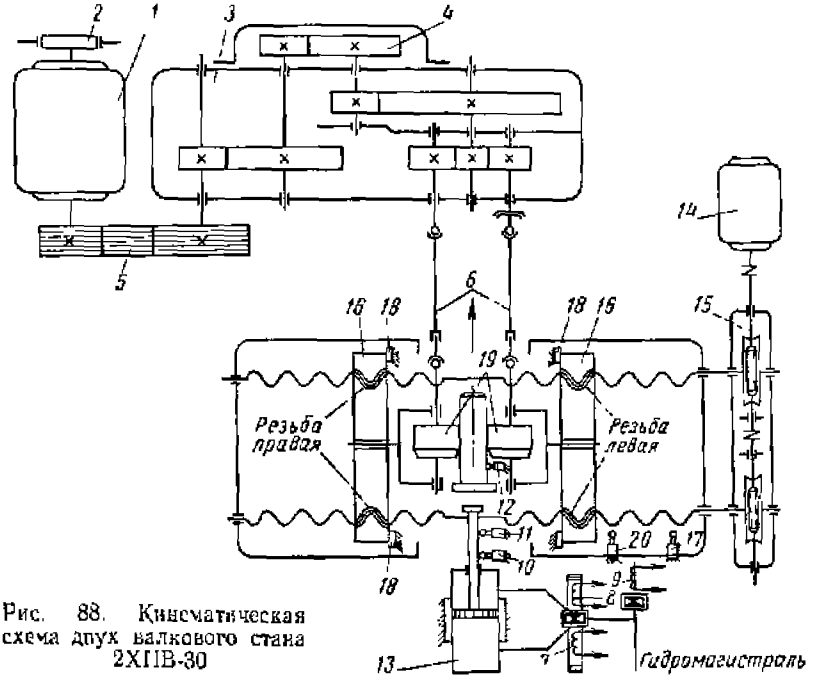


Рис. 88. Кинематическая схема двух валкового стана 2ХПВ-30

валков. Разведение валков происходит до того момента, пока прокатанный винт не будет сброшен влево на разгрузочный желоб рычагами, закрепленными на корпусе рабочего валка. После нажатия конечного выключателя *12* шток гидроцилиндра *13* отходит в исходное положение. Разведение валков осуществляется электродвигателем *14* постоянного тока через упругую кольцевую муфту, червячный редуктор *15*, ходовые винты и подвижные каретки *16*, на которых закреплены рабочие валки. При нажатии каретки на конечный выключатель *17* электродвигатель *14* реверсируется и начинается сведение валков. Не доходя некоторого расстояния

до регулируемых упоров *18*, каретки *16* нажимают на конечный выключатель *20*, который переводит электродвигатель на пониженные обороты. Каретки *16* доходят по упоров *18* на малой скорости и электродвигатель *14* останавливается. На этом оканчивается цикл прокатки одного винта.

Производительность стана при прокатке трапецеидальной резьбы 52×8 на винтах а

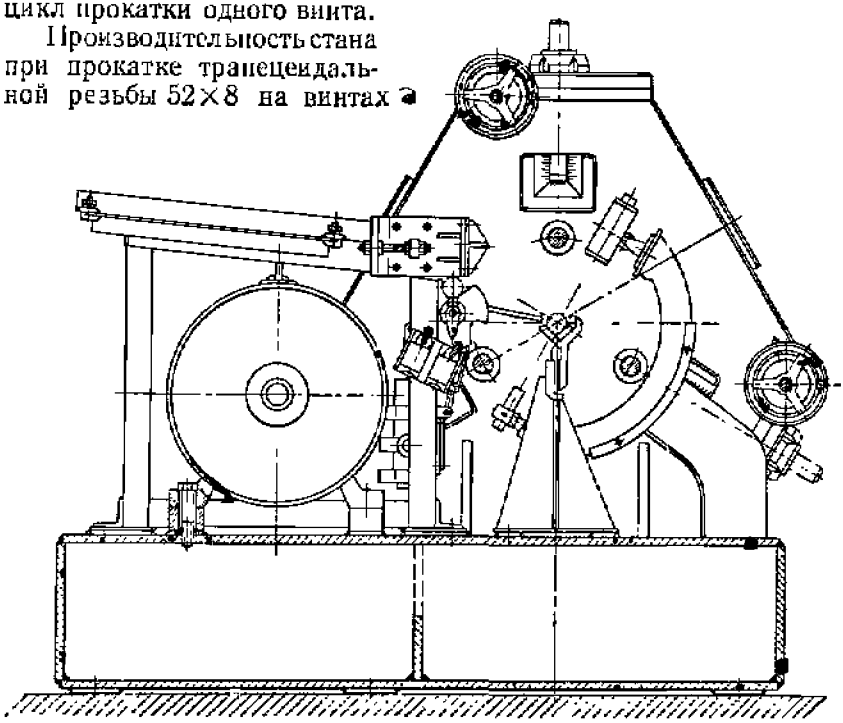


Рис. 89. Трехвалковый стан 3ХПВ-30 для холодной прокатки крупной резьбы

с буртами составляет 100—150 *пог. м* прокатанной резьбы в смену.

Трехвалковый стан 3ХПВ-30 (рис. 89) усилием 30 *т* предназначен для холодной прокатки крупной резьбы на длинных винтах без буртов.

Осевая настройка валков осуществляется поворотом двух валков при помощи червячных муфт с нониусом. Изменение радиального зазора и угла разворота осей валков осуществляется вручную с помощью механизма установки.

Вращение рабочих валков осуществляется от трехскоростного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя через комбинированный редуктор и универсальные шпиндели.

Предусмотрены ручной и автоматический режимы работы механизмов стана для прокатки винтов. Для осуществления автоматической работы на стане установлены фотореле перед входной про-

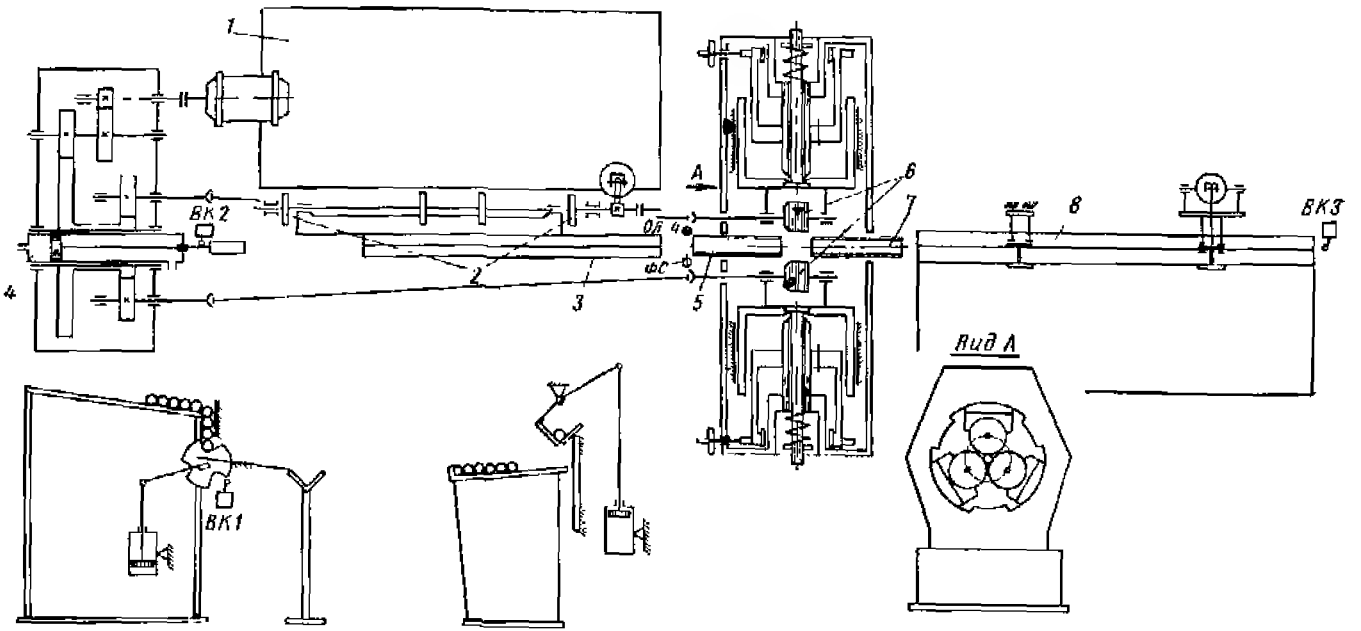


Рис. 90. Кинематическая схема трехвалкового стана 3ХПВ-30

водкой и конечные выключатели типа ВК-311 на следующих механизмах: механизме подачи заготовок, толкателе и механизме сброса готовых изделий.

Механизмы стана 3ХПВ-30 (рис. 90) при прокатке резьбы на винтах работают следующим образом.

Заготовки укладываются на наклонную раму загрузочного устройства *1*. Дисками *2* дозатора заготовки по одной выдаются в приемный желоб *3*. Гидравлический толкатель *4* через переднюю проводку *5* задает заготовку в рабочие валки *6*. После начала прокатки ее гидравлический толкатель *4* отходит в первоначальное положение. Прокатанная деталь остается в выходной проводке *7* и желобе *8* выходной стороны. Концом следующей заготовки прокатанная деталь полностью проталкивается в желоб *8* выходной стороны. После этого желоб раскрывается и деталь попадает на наклонную площадку, затем процесс повторяется.

Загрузочное устройство служит для автоматической штучной подачи заготовок на прокатку. Оно представляет собой наклонную раму сварной конструкции, на которой устанавливается дозирующее устройство.

Дозирующее устройство представляет собой вал с насаженными на него четырьмя дисками. Вал установлен на двух подшипниках. Каждый диск имеет три фасонных выреза для различных диаметров заготовок. С помощью дисков заготовка выдается на наклонную площадку, а затем скатывается в приемный желоб. Поворот вала с дисками осуществляется от пневматического цилиндра.

Вспомогательное время при прокатке резьбы винтов на стане сведено к нулю. Производительность стана при прокатке трапецеидальной резьбы 36×6 и 65×8 составляет в среднем 100—150 *пог. м* прокатанной резьбы в смену.

2. СТАНЫ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ КРУПНЫХ РЕЗЬБ, ЗАГОТОВОК ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ И ЧЕРВЯКОВ

Трехвалковый стан ЗГПФ-40 (рис. 91) усилием 40 *т* предназначен для горячей прокатки крупной резьбы, заготовок червячных фрез и червяков, не имеющих буртов. На стане нет устройства для механизированного разведения и сведения валков, которое необходимо при прокатке изделий с буртами. Кинематическая схема стана приведена на рис. 92.

Сведение и разведение валков *2* во время настройки стана осуществляется вручную через штурвал *1*, червяк *6*, две цилиндрические шестерни *4* и два нажимных винта *3*. Нажимные винты *3*, вращаясь в гайках, через бобышки нажимают на траверсу, в которой смонтированы опорные подушки осей валков.

Валки *2* пружиной *5* постоянно прижаты к нажимным винтам *3*. Верхний валок, кроме ручного привода, имеет привод от электродвигателя *7* переменного тока, предусмотренного на аварийный

случай в целях быстрейшего отведения валка от горячей заготовки и извлечения последней из валков.

Угловая настройка валков осуществляется четырьмя винтами через сферические сухари. Отсчет перемещения рычага производится по лимбу. Осевая настройка валков осуществляется поворотом двух валков при помощи фрикционных муфт, а затем перемещением двух валков в осевом направлении. После угловой и осевой настройки валки стопорятся.

Рис. 91. Трехвалковый стан ЗГПФ-40 для горячей прокатки заготовок червячных фрез

Вращение валков *2* осуществляется от двух двускоростных двигателей *11* через косозубые шестерни *12*, *13*, шевронные шестерни *10* и универсальные шпиндели *9*.

Управление станом может быть автоматическим с применением фотореле и ручным с пульта управления.

При автоматическом управлении станом и сквозном нагреве заготовок процесс прокатки заготовки происходит следующим образом.

Нагретая заготовка по склизу поступает на наклонный стол механизма подачи и скатывается в подъемный желоб *23*, после чего фото-реле *19* дает импульс гидравлическому цилиндру *20* на подъем заготовки до оси прокатки. Подъемный желоб, поднимаясь до упора *21*, отрегулированного таким образом, чтобы в верхнем положении ось заготовки совпадала с осью прокатки, одновременно нажимает на конечный выключатель *22*, который дает импульс гидроцилиндру *24*. Шток гидроцилиндра *24* через проводку подает заготовку к валкам *2*.

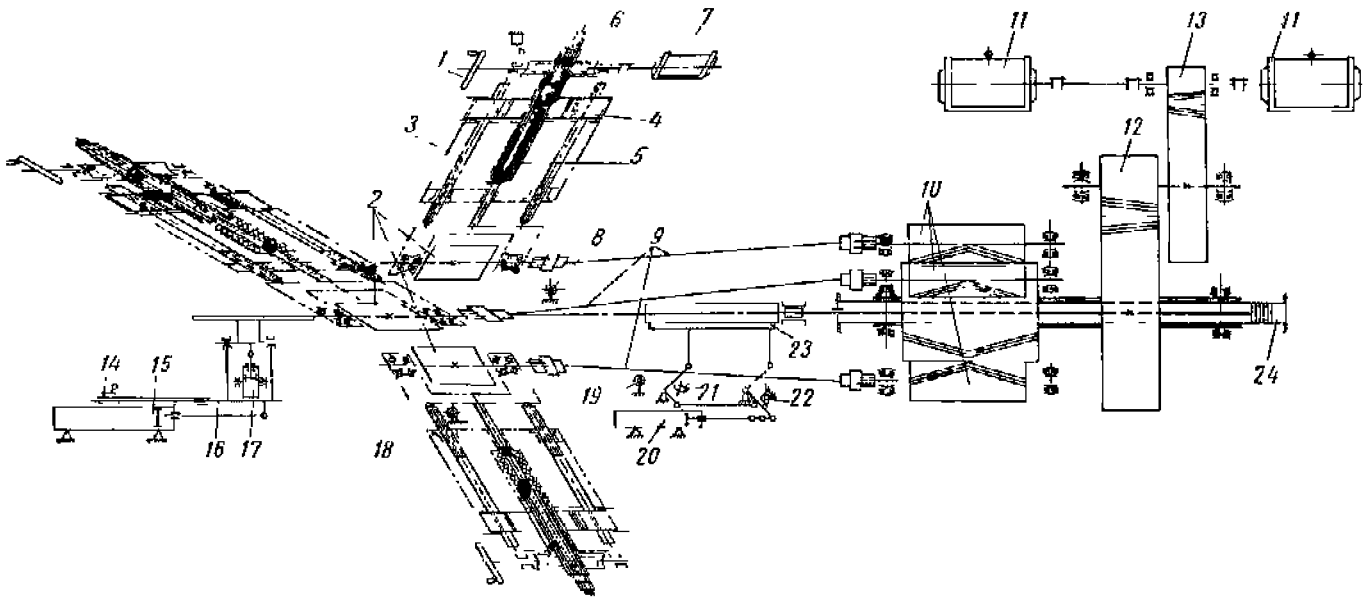


Рис. 92. Кинематическая схема трехвалкового стана ЗГПФ-40

На расстоянии 50—70 *мм* от начала заборного конуса валков установлено фото-реле *8*, которое дает импульс гидроцилиндру *24* на уменьшение скорости подачи заготовки до скорости, равной осевому перемещению ее при прокатке. Одновременно с этим фото-реле *8* дает импульс на подачу технологической смазки в зону деформации металла и с выдержкой времени, импульс на обратный ход штока гидроцилиндров *20* и *24*.

При выходе переднего конца заготовки из валков фото-реле *18* дает импульс цилиндру *15* на передвижение подвижной плиты *16* под прокатываемую заготовку. После выхода из валков заднего конца заготовки фото-реле *18* дает импульс на прекращение подачи технологической смазки и на движение подвижной плиты с заготовкой. Подвижная плита передвигается до конечного выключателя *14*, который выключает пневмоцилиндр *15* и включает пневмоцилиндр *17* на поворот желоба для сбрасывания прокатанной заготовки. С небольшой выдержкой шток пневмоцилиндра *17* идет обратно и ставит опрокидывающий желоб в исходное положение. На этом оканчивается цикл прокатки одной заготовки.

Средняя производительность стана составляет 200—250 *пог. м* прокатанного изделия с винтовой поверхностью в смену.

Трехвалковый стан ЗГПЧ-25 (рис. 93) усилием 25 *т* предназначен для горячей прокатки профиля червяков с буртами с радиальной подачей валков. На стане сведение и разведение валков механизировано.

Регулировка валков *6* (рис. 94) на заданный диаметр прокатываемого червяка производится при помощи специального регулируемого упора *10*.

Осевая настройка валков *6* производится поворотом двух валков при помощи червячных муфт с нониусом.

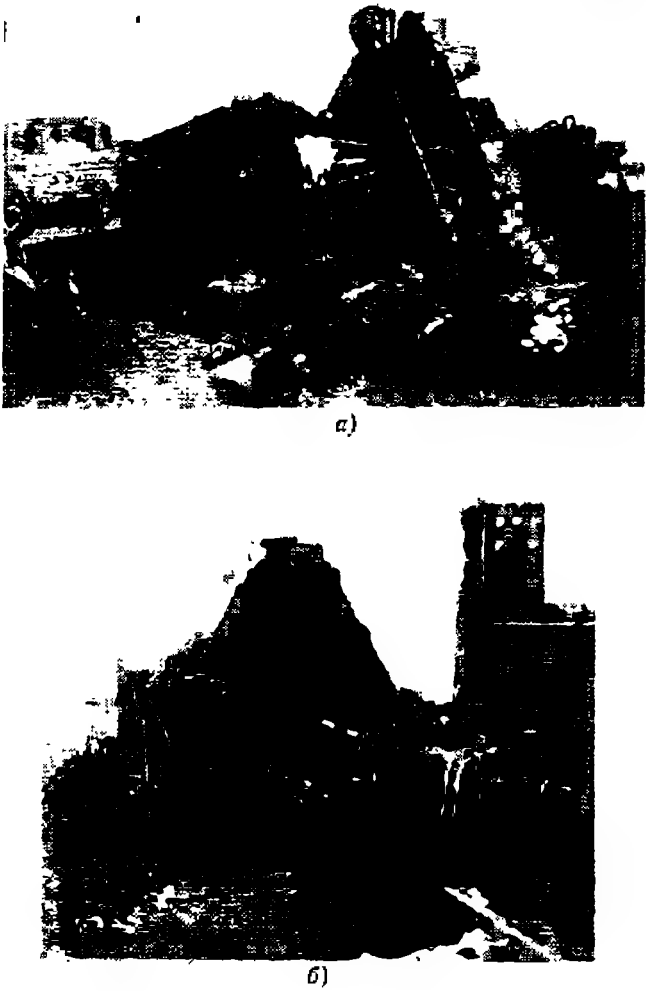
Вращение рабочих валков *6* осуществляется от электродвигателя *1* постоянного тока (87 *квт*, 220 *в*, 570 *об/мин*) через специальный трехступенчатый цилиндрический редуктор *2* и универсальные шпиндели *4*.

Радиальная подача валков *6* в процессе прокатки осуществляется нажимными винтами *7*, которые приводятся во вращение электродвигателем *3* постоянного тока (16 *квт*, 220 *в*, 690 *об/мин*).

Работа механизмов стана ЗГПЧ-25 (рис. 94) происходит в следующем порядке.

После того как заготовки уложены вручную на загрузочную решетку *12*, включается цилиндр дозатора *11* и сбрасывает заготовку на поддерживающие желоба, по которым она скатывается на ось прокатки. В конце хода цилиндра срабатывает конечный выключатель *22* и дает импульс на подачу воздуха в первую полость цилиндра левого центродержателя *5*. Левый центродержатель *5* двигается вправо до упора и входит в центровое отверстие заготовки. Одновременно включается реле времени, и после выдержки 5—6 *сек* подается давление в правую полость цилиндра правого

центродержателя *17*. Правый центродержатель *17* входит в центровое отверстие заготовки. При этом срабатывает конечный выключатель *20* и дает импульс на опускание желобов.



а)

б)

Рис. 93. Трехвалковый стан ЗГПЧ-25 для горячей прокатки червяков:

а — со стороны привода вращения и сведения валков; *б* — со стороны механизмов загрузки и выгрузки заготовок

После опускания желобов срабатывает конечный выключатель *24* и дает импульс на включение цилиндра передвижения каретки *13* с трансформатором *14* и индуктором *15*. После передвижения ин-

дуктора с трансформатором *15* в рабочее положение конечный выключатель *8* дает команду на подъем поддерживающих желобов.

После подъема желобов дается команда на нагрев заготовки. После окончания нагрева реле времени подает команду на подачу заготовки в зону валков *6*. Для этого в правую полость цилиндра левого центродержателя *5* подается давление (левая полость левого цилиндра и правая полость правого цилиндра остаются под давлением). Правый цилиндр доходит до упора, и заготовка оста-

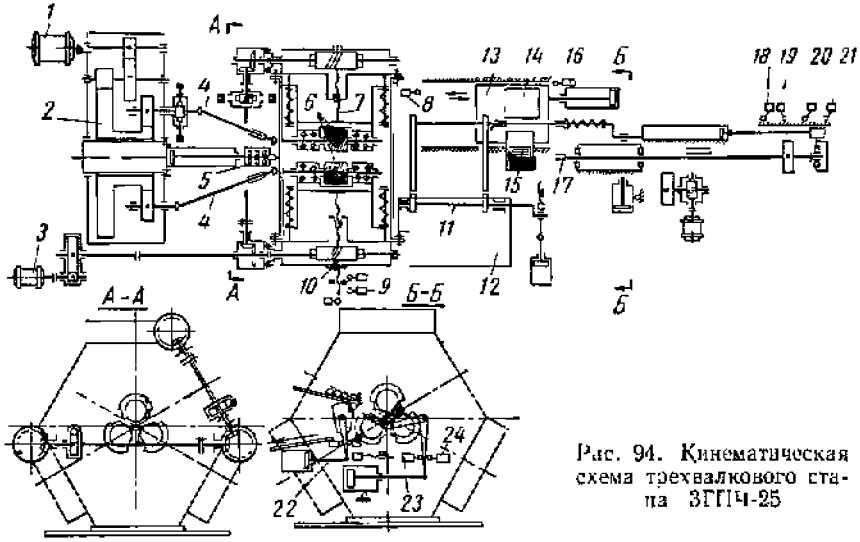


Рис. 94. Кинематическая схема трехвалкового стана ЗГПЧ-25

навливается. При этом срабатывает конечный выключатель *18*, который дает команду одновременно на опускание желобов, на сведение валков *6* и на подачу технологической смазки.

При ходе цилиндров вправо для подачи заготовки в валки *6* конечный выключатель *19* срабатывает вхолостую. Предусмотрена возможность в зависимости от схем прокатки включать в ту или другую сторону электродвигатель вращения валков.

При прокатке червяков с радиальной подачей валков *6* в силу нарушения условий кратности заготовка получает осевое перемещение.

Постепенно внедряясь в заготовку, валки *6* достигают соотношения катающих диаметров, при котором кратность их не нарушена, в этот момент осевое перемещение заготовки прекращается. Однако при дальнейшем внедрении их в заготовку кратность катающих диаметров вновь нарушается. Теперь при том же направлении вращения валков *6* заготовка перемещается в осевом направлении в противоположную сторону. Это так называемое явление «обратного хода» в значительной степени затрудняет автоматизацию процесса прокатки. Однако специально созданная для этого

случая система автореверса на стане позволяет полностью нейтрализовать неприятные последствия явления «обратного хода».

Суть этой системы состоит в том, что валки *6* могут изменять направление своего вращения независимо от порядка подхода заготовки к конечным выключателям.

На время реверса предусмотрено выключение радиальной подачи валков *6* для того, чтобы не было внедрения их в неподвижную заготовку в осевом направлении. Когда до конца прокатки остается 1—2 *мм* (по радиусу заготовки), механизм передвижения валков *6* переключается на малую скорость. Валки *6* на малой скорости доходят до регулируемого упора *10* и начинается калибровка.

Если калибровка начинается в момент, когда заготовка в центрах центродержателей *5* и *17* движется вправо, то после достижения крайнего правого положения дается реверс, заготовка доходит до крайнего левого положения и на этом калибровка заканчивается. Если же заготовка двигалась влево, то нужно дважды реверсировать валки *6*, так как разведение их можно начинать лишь в тот момент, когда заготовка находится в крайнем левом положении. Во время прокатки детали поддерживающие желоба находятся внизу, это дает возможность пропустить после прокатки увеличенную по диаметру заготовку.

После окончания калибровки валки *6* разводятся (при этом останавливается их вращение). После развода валков *6* включается их водяное охлаждение, а также вращение. За время подачи заготовки в валки *6* и до окончания разведения валков каретка с индуктором возвращается в исходное положение. После разведения валков *6* в крайнее положение конечный выключатель *9* дает сигнал на возвращение прокатанной заготовки в позицию нагрева. При этом снимается давление с правых полостей цилиндров центродержателей *5* и *17*. Остается под давлением лишь левая полость цилиндра левого центродержателя *5*. Прокатанная заготовка в центрах двигается вправо и останавливается, когда левый цилиндр доходит до упора. При этом конечный выключатель *19* срабатывает вхолостую.

При подходе левого центра *5* к упору срабатывает конечный выключатель *20*, который дает команду на поднятие поддерживающих желобов. После того как желоба поднялись в верхнее положение, срабатывает конечный выключатель *23*, который дает команду на разведение валков *6*. Для этого давление из левой полости левого цилиндра снимается и подается давление в левую полость правого цилиндра и в правую полость левого цилиндра.

Когда правый цилиндр возвращается в исходное правое положение, срабатывает конечный выключатель *21*, который дает команду на опускание поддерживающих желобов. После того как желоба опустятся в исходное положение, срабатывает конечный выключатель *24* и включает реле времени, настроенное на выдержку времени 1—3 *сек*, необходимую для того, чтобы дать время

прокатанной заготовке откатиться на решетку выгрузки. Далее реле времени дает сигнал на поднятие желобов, которые в верхнем положении включают конечный выключатель *23*. Конечный выключатель *16* дает сигнал на подачу следующей заготовки (включение дозатора), и начинается следующий цикл.

Средняя производительность стана составляет 250—300 прокатанных червяков в смену.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ

Прокатка длинной резьбы с крупным шагом, червяков, заготовок червячных фрез и других изделий с винтовой поверхностью является прогрессивным способом обработки металлов давлением и находит все более широкое применение на машиностроительных и инструментальных заводах. Она резко повышает производительность труда, уменьшает расход металла, улучшает механические свойства изделий, а также дает возможность получать детали с высокой точностью и чистотой поверхности.

Производительность процесса прокатки составляет от 0,3 до 0,9 *пог. м* в минуту, что в 10—15 раз выше, чем при нарезании резьбы вращающимися резцами (вихревым способом), и в 30—80 раз выше по сравнению с нарезанием резьбы на токарно-винторезных и резьбофрезерных станках при обычных методах работы. Экономия металла за счет устранения отходов металла в стружку составляет от 10 до 30%.

Винты с прокатанной резьбой в холодном состоянии имеют высокую прочность резьбы, что обеспечивает повышение несущей способности и износостойкости по сравнению с винтами с нарезной резьбой, что ведет к дальнейшей экономии металла.

Червячные фрезы, изготовленные из прокатанных заготовок, по профилю зуба имеют улучшенную структуру металла по сравнению с фрезерованными, что повышает их стойкость в процессе эксплуатации.

Применение процесса прокатки весьма эффективно не только в массовом производстве, но также при изготовлении сравнительно небольших партий изделий.

Методом прокатки могут изготовляться винты качения, винты домкратов и различных грузовых механизмов, винты шахтной крепи, винты сцепных приборов, ходовые винты, винты подачи, червяки, заготовки червячных фрез, плунжеры винтовых насосов и другие изделия с винтовой поверхностью.

Наиболее удобны для прокатки изделия с длинными резьбовыми участками, у которых по длине винта отсутствуют участки с наружным диаметром, превышающим диаметр впадины резьбы.

В этом случае прокатка ведется на проход и процесс становится непрерывным, а вспомогательное время практически сводится к нулю.

Прокатка резьбы на деталях с участками, выступающими за пределы внутреннего диаметра резьбы, требует сведения валков перед прокаткой и разведения их в конце прокатки каждого винта. Это усложняет конструкцию станов, снижает точность и производительность процесса и не всегда обеспечивает экономию металла. Кроме того, на винтах всегда будет участок с неполной высотой профиля прокатанной резьбы, равный длине заборного конуса валков. Поэтому в тех случаях, где это возможно и экономически оправдано, следует изменить конструкцию деталей при изготовлении их прокаткой.

Однако в машиностроении имеется большое количество длинных винтов с выступающими участками за пределы внутреннего диаметра резьбы, изменение конструкции которых приводит к появлению новых дополнительных деталей и операций механической обработки, в результате чего процесс прокатки становится мало эффективным. Для этих винтов во ВНИИМетмаше проводились экспериментальные работы по контактной приварке методом оплавления гладкой части с прокатанной резьбовой частью винта. Проведенные сравнительные механические испытания на растяжение и ударную вязкость сварных и цельных образцов подтверждают возможность и целесообразность применения контактной сварки оплавлением при изготовлении винтов с буртами.

Станы для прокатки изделий с винтовой поверхностью позволяют при малых капитальных затратах на существующих производственных площадях увеличить выпуск готовой продукции и снизить ее себестоимость.

Высокие технико-экономические показатели процесса поперечно-винтовой прокатки изделий с винтовой поверхностью свидетельствуют о необходимости самого широкого внедрения в машиностроение и инструментальную промышленность новой прогрессивной технологии. Опыт наладки и промышленной эксплуатации первых опытно-промышленных станов показал, что для широкого внедрения в промышленность этого процесса необходимо разработать типаж станов. Примерная техническая характеристика этих станов приведена в табл. 22.

Станы типов 2—5 целесообразно проектировать трехвалковыми. При прокатке на трехвалковых станах отсутствуют задиры наружного диаметра резьбы, уменьшается давление металла на валки и мощность прокатки.

Станы типа 1 должны быть двухвалковыми и обеспечивать прокатку резьбы диаметром от 10 до 36 *мм*.

Станы типов 1—4 предназначаются для прокатки крупной резьбы на изделиях без буртов. В этих станах сведение и разведение валков при настройке целесообразно осуществлять ручным приводом.

Станы типа 5 предназначаются для прокатки крупной резьбы на изделиях с буртами и для прокатки с радиальной подачей вал-

Таблица 22

Техническая характеристика станов

Параметры станов	Для холодной прокатки			Для горячей прокатки	
	Типы станов				
	1	2	3	4	5
Давление металла на валки в *т*	15	25	25	40	30
Крутящий момент на валке в *кГм*	250	350	350	500	400
Диаметр валков в *мм*	165—200	170—220	170—260	260—300	180—250
Ширина валков в *мм*	70	90	120	150	150
Число оборотов валков в минуту	15, 20, 25	15, 20, 25	30, 50, 70	30, 50, 70	25, 40, 60
Количество валков	2	3	3	3	3
Угол наклона валков в *град*	5	5	5	5	5
Диаметр прокатываемых изделий в *мм*	10—36	36—80	36—125	125—180	30—150

ков. В этих станах необходимо иметь механизированное сведение и разведение валков. Скорость радиальной подачи валков должна регулироваться.

Осевую настройку валков во всех станах целесообразно осуществлять при помощи специальной червячной муфты, расположенной между шестеренной клетью и универсальными шпинделями. Конструкция этой муфты должна обеспечивать поворот одного валка относительно другого на угол 120°. Отсчет перемещения должен производиться по лимбу. При прокатке муфты не должна расстраиваться. Осуществление осевой настройки валков при помощи червячной муфты дает возможность ликвидировать осевое перемещение корпуса валка в стане, что значительно повышает его жесткость.

Угловая настройка валков должна осуществляться путем наклона узла валка в обе стороны на 5°. Пересечение осей при развороте валков должно строго проходить по середине калибрующего участка валков.

Механизмы загрузки и задачи заготовки в валки целесообразно располагать между редуктором и валками стана. Это дает возможность значительно уменьшить длину стана, улучшает условия труда при настройке и обслуживанию его.

Универсальные шпиндели следует применять на подшипниках качения.

На всех станах должна быть установка для подачи технологической смазки в зону пластической деформации металла заготовки.

Для привода вращения валков целесообразно применять двух-, трехступенчатые электродвигатели переменного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писаревский М. Н. Накатывание точных резьб и шлицев. Ленинградское отделение Машгиза, 1963.

2. Загурский В. И. Прогрессивные способы обработки резьбы. Машгиз, 1960.

3. Лапин В. В. Холодная прокатка червяков. Бюллетень технико-экономической информации, № 6, 1964.

4. Соколов Н. В. Накатывание трапецеидальной резьбы на деталях судовой арматуры. Судпромгиз, 1955.

5. Васильчиков М. В., Волков М. М., Кирпичников Ф. П. Накатывание крупных резьб. ФВИНИТИ АН СССР, тема 6, № М-57-317/13, 1957.

6. Волков М. М. Расчет, материал и технология изготовления валков при поперечновинтовой прокатке крупной резьбы и заготовок червячных фрез. ГОСНИТИ Передовой научно-технический и производственный опыт № 5-63-540/55, 1963.

7. Волков М. М. Холодная прокатка резьбы на длинных винтах. «Кузнечно-штамповочное производство», 1961, № 4.

8. Волков М. М., Кирпичников Ф. П. Прокатка винтовых профилей. ЦБНТИ, ЦНИИТМАШ, 1958.

9. Волков М. М. Исследование качества и точности винтов с прокатанной резьбой. «Вестник машиностроения», 1962, № 6.

10. Ковач В. М. Основы технологии машиностроения. Машгиз, 1959.

11. Васильчиков М. В., Волков М. М. Горячая прокатка длинных резьб с крупным шагом на полых изделиях. «Кузнечно-штамповочное производство», 1960, № 11.

12. Васильчиков М. В., Волков М. М. Прокатка заготовок червячных фрез. ФВИНИТИ, АН СССР, тема 11, № 1-59-292/13, 1959.

13. Смирнов В. С. Поперечная прокатка. Машгиз, 1948.

14. Смирнов В. С., Анисифоров В. П., Васильчиков М. В. и др. Поперечная прокатка в машиностроении, Машгиз, 1957.

15. Васильчиков М. В., Волков М. М., Мейлер Б. А. Поперечновинтовая прокатка заготовок червячных фрез. «Станки и инструмент», 1963, № 11.

16. Волков М. М. Разработка, исследование и внедрение поперечновинтовой прокатки крупных резьб и заготовок червячных фрез. Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук, 1963.

17. Волков М. М. Усилия на валки и расход энергии при поперечновинтовой прокатке крупной резьбы. «Вестник машиностроения», 1964, № 12.

18. Целиков А. И. Прокатные станы. Металлургиздат, 1946.

19. Целиков А. И. Определение контактной поверхности при прокатке с учетом упругой деформации. «Сталь», 1961, № 6.

20. Целиков А. И. Теория расчета усилий в прокатных станах. Металлургиздат, 1962.

21. Режимы скоростного резания металлов. Справочник. Вып. II. Машгиз, 1951.

22. Чижиков Ю. М. Прокатываемость стали и сплавов. Металлургиздат, 1961.

23. Васильчиков М. В., Волков М. М. Стан для прокатки наружной резьбы с крупным шагом на длинных винтах. «Передовой научно-технический и производственный опыт» ИТЭИН. Вып. 11, тема 7, № М-60254/11, 1960.

24. Волков М. М. Стан для прокатки заготовок червячных фрез. Бюллетень технико-экономической информации № 10, 1961.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава I. **Особенности поперечновинтовой прокатки** 5

1. Кинематика процесса 5
2. Схемы процесса 10
3. Конструкция и расчет валков 13
4. Настройка валков 23
5. Материал и технология изготовления валков 25

Глава II. **Холодная прокатка крупных резьб** 29

1. Технологические вопросы прокатки 29
2. Прокатка профиля резьбы винтов качения 33
3. Качество винтов с прокатанной резьбой 36
4. Точность прокатанной резьбы винтов 43

Глава III. **Горячая прокатка изделий с винтовой поверхностью** . . . 47

1. Технологические вопросы прокатки 47
2. Прокатка крупной резьбы на полых изделиях 51
3. Прокатка винтовых штанг 59
4. Прокатка заготовок червячных фрез 61
5. Прокатка полых сборных штанг 70
6. Прокатка биметаллических заготовок 71

Глава IV. **Формообразование профиля при поперечновинтовой прокатке изделий с винтовой поверхностью** 75

1. Течение металла при формовке профиля 75
2. Дефекты и причины их возникновения 80
3. Размеры и форма заготовки 83
4. Определение длины заготовки, расхода металла и отходов . . . 89

Глава V. **Определение действующих усилий на валки и расхода энергии при поперечновинтовой прокатке изделий с винтовой поверхностью** 92

1. Определение контактной площади 92
2. Измерение усилий, моментов и расхода электроэнергии 96
3. Определение среднего удельного давления 105

Глава VI. **Прокатка червяков** 110

1. Схема прокатки и конструкция валков 110
2. Конструкция заготовки 114
3. Режимы прокатки червяков 115
4. Качество и точность прокатанных червяков 117

139

Глава VII. Первые промышленные станы для прокатки изделий с винтовой поверхностью и перспективы процесса 119
1. Станы для холодной прокатки крупных резьб 119
2. Станы для горячей прокатки крупных резьб, заготовок червячных фрез и червяков 128
3. Перспективы процесса прокатки 135
Литература 138

Михаил Васильевич Васильчиков и Михаил Михайлович Волков

ПОПЕРЕЧНОВИНТОВАЯ ПРОКАТКА ИЗДАНИЙ
С ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Редактор издательства *Н. С. Степанченко*
Технический редактор *Б. И. Мобель* и *Л. Т. Зубко* Корректор *Л. Ф. Никифорова*
Обложка художника *В. Б. Горешева*

Сдано в производство 4/V 1967 г. Подписано к печати 27/IX 1967 г.
Т-13143 Тираж 3500 экз. Печ. л. 8,75 Бум. л. 4,38 Уч.-изд. л. 9
Формат 60×90¹/₁₆. Цена 63 к. Зак. № 1617

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ», Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР Ленинград, ул. Моисеенко, 10

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ККМЗ им. В. И. Ленина